



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599**

# **MODIFIKASI DESAIN DERMAGA PETI KEMAS DENGAN KAPASITAS 50.000 DWT DAN 10.000 DWT DI TELUK LAMONG, SURABAYA**

**FUAD ANDARU BASKARA**  
NRP. 3115.040.623

Dosen Pembimbing 1  
Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D.  
NIP. 19620328 198803 1 001

Dosen Pembimbing 2  
R. BUYUNG ANUGRAHA A, S.T, M.T.  
NIP. 19740203 200212 1 002

**JURUSAN DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL - LANJUT JENJANG**  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**PROYEK AKHIR TERAPAN - RC146599**

**MODIFIKASI DESAIN DERMAGA PETI KEMAS  
DENGAN KAPASITAS 50.000 DWT DAN  
10.000 DWT DI TELUK LAMONG, SURABAYA**

**FUAD ANDARU BASKARA**  
NRP. 3115.040.623

Dosen Pembimbing 1  
Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D.  
NIP. 19620328 198803 1 001

Dosen Pembimbing 2  
R. BUYUNG ANUGRAHA A, S.T, M.T.  
NIP. 19740203 200212 1 002

JURUSAN DIPLOMA IV TEKNIK SIPIL - LANJUT JENJANG  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**APPLIED FINAL PROJECT - RC146599**

# **DESIGN MODIFICATION OF JETTY FOR 50.000 DWT AND 10.000 DWT CONTAINER IN LAMONG BAY, SURABAYA**

**FUAD ANDARU BASKARA**  
**NRP. 3115.040.623**

**Counsellor Lecture 1**  
**Ir. AGUNG BUDIPRIYANTO, M.Eng, Ph.D.**  
**NIP. 19620328 198803 1 001**

**Counsellor Lecture 2**  
**R. BUYUNG ANUGRAHA A, S.T, M.T.**  
**NIP. 19740203 200212 1 002**

**Department of DIPLOMA IV - LJ Civil Engineering**  
**Faculty of Civil Engineering and Planning**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya 2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### MODIFIKASI DESAIN DERMAGA PETI KEMAS DENGAN KAPASITAS 50.000 DWT DAN 10.000 DWT TELUK LAMONG, SURABAYA

#### PROYEK AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan  
pada

Program Studi Diploma IV Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :



Fuad Andaru Baskara  
NRP. 3115 040 623

Disetujui oleh Pembimbing Proyek Akhir :

Pembimbing 1



26 JAN 2017

Surabaya, Januari 2017

***“ Halaman ini sengaja dikosongkan ”***



**BERITA ACARA**  
**TUGAS AKHIR TERAPAN**  
 PROGRAM LANJUT JENJANG DIPLOMA IV  
 TEKNIK SIPIL FTSP - ITS

No. Agenda :  
 080073/IT2.3.1.1/PP.05.01/2016

Tanggal : 13 Januari 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Modifikasi Desain Dermaga Peti Kemas dengan Kapasitas 50.000 DWT dan 10.000 DWT Teluk Lamong, Surabaya		
Nama Mahasiswa	Fuad Andaru Baskara	NRP	3115040623
Dosen Pembimbing 1	Ir. Agung Bp, M.Eng., PhD NIP 19620328 198803 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	R. Buyung Anugraha A, ST., MT NIP 19740203 200212 1 002	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trans miring diperiksa tdk kemiringan tumpukan gmn yg vs lain</li> <li>• BEBAN GENPA MEMPERHATIKAN</li> <li>• BEBAS CRANE + BEBAN HIDUP LAIN ✓</li> <li>• Model Struktur trans miring pd SAP</li> <li>• Beban Dolphin Joint</li> <li>• Diameter sengkang diperbaiki</li> <li>• Balok Fender diperbaiki</li> <li>• Tulangan pelat diperbaiki</li> <li>• Gable vs diperbaiki</li> <li>• Kedalaman tdk pancing dicek</li> <li>• Cek trans tdk pancingan pd saat pelaksanaan</li> <li>• Hub ml pile cap dan balok</li> <li>• Panjang panyaluran ml PILE CAP</li> <li>• Tul. sumping PILE CAP</li> <li>• Fender untuk 10.000 DWT diperbaiki</li> </ul>	 Ir. Ibnu Pudji R, MS NIP 19600105 198603 1 003
	 Ir. Chomaedhi, CES. Geo NIP 19550319 198403 1 001
	Afif Navir Refani, ST., MT NIP 19840919 201504 1 001

**PERSETUJUAN HASIL REVISI**

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
Ir. Ibnu Pudji R, MS	Ir. Chomaedhi, CES. Geo	Afif Navir Refani, ST., MT	-	Ir. Agung Bp, M.Eng., PhD	R. Buyung Anugraha A, ST., MT
NIP 19600105 198603 1 003	NIP 19550319 198403 1 001	NIP 19840919 201504 1 001	NIP -	NIP 19620328 198803 1 001	NIP 19740203 200212 1 002



### ASISTENSI PROYEK AKHIR

**Nama**  
**NRP**

**Judul Tugas Akhir**

**Dosen Pembimbing**

- : 1. FUAD ANDARU BASKARA  
 : 1. 3115 040 G23  
 : MODIFIKASI DESAIN DERMAGA PETI KEMAS DENGAN  
 KAPITAS 50.000 DWT TELUK LAMONG, SURABAYA  
 : Ir. AGUNG BUDIPELIYANTO, M.Eng., Ph.D.  
 : R. BUNUNG ANUBRAHA A, S.T., M.T.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	26/Sept/2016	- Cek Kembali untuk penentuan lebar Dermaga dengan mempertimbangkan (Putaran truk, Space Ama ke 2 Abot Crane, Gambar dengan ukuran Detail Crane)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Ikuti ketentuan persyaratan.				
		- Timor Huis rencana, tebal plat		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Balok Crane drcek lagi ukuran / Dimensinya. (Crane, memangang, dll..)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Plat = Semi Precast (Mitu + Precast)				
		- Gambar Potongan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Hitung/ lanjutkan ke pembebanan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	28/oktober/2016	- tarikan kapal Horizontal. Pada ballard. dihitung sudut.				
		- dihitung Sentuh Fender.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- dimodifikasi.		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- buat kombinasinya				
		- Arus & Gelombang, Angin.				
3	11/Nov/2016.	- Crane Bisi darat kopantar 10.000 dwt. Seuaikan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Spesifikasi yang ada cek desain.				

**Ket.**  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terjambat dari jadwal





### ASISTENSI PROYEK AKHIR

**Nama** : 1. FUAD ANDARU BASTARA 2  
**NRP** : 1. 3115 091 623 2  
**Judul Tugas Akhir** : notifikasi DESAIN DERAGA PERI KEMAS dengan kapasitas 50.000 DWT dan 10.000 DWT Teluk Lamong, Surabaya  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Agung Subipriyanto, M.Eng., Ph.D  
 R. BURNUNG ANUGRAHA A, S.T, M.T.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	6-pes-2016.	- Cek kombinasi				
		- UDL tambah sampai 7				
		- Gelombang (model)		B	C	K
		- Gempa - Arus		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- mooring & Berthing				
		Sudut berbedan				
		- Cek Gombor		B	C	K
		- Paking Surut -> elev. dermaga		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Tipe (SPP) tebal				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal



**MODIFIKASI DESAIN DERMAGA PETI KEMAS DENGAN  
KAPASITAS 50.000 DWT DAN 10.000 DWT  
TELUK LAMONG, SURABAYA**

**Nama Mahasiswa : Fuad Andaru Baskara**  
**NRP : 3115 040 623**  
**Jurusan : D4 Teknik Sipil FTSP – ITS**  
**Bangunan Transportasi**

**Dosen Pembimbing 1 : Ir. Agung Budipriyanto. M.Eng., PhD.**  
**NIP : 19620328 198803 1 001**

**Dosen Pembimbing 2 : R. Buyung Anugraha A, ST., MT.**  
**NIP : 19740203 200212 1 002**

**Abstrak**

*Modifikasi desain dermaga peti kemas berada di pelabuhan teluk lamong surabaya. Dermaga petikemas ini diharapkan dapat mengurangi waktu tunggu (antrian) kapal di Pelabuhan Tanjung Perak, selaku pintu gerbang perekonomian Jawa Timur dan Kawasan Timur Indonesia. Rencana pelayanan jangka panjang harus dapat dipikirkan, oleh karena itu peningkatan kapasitas serta penambahan dermaga dirasa perlu, ditambah seiring berjalanya waktu arus peti kemas pasti meningkat . Modifikasi perencanaan dermaga ini meninjau dermaga peti kemas yang akan direncanakan di teluk lamong sehingga dapat melayani kapal dengan kapasitas sampai 50.000 DWT di sisi laut dan 10.000 DWT di sisi darat*

*Dalam Proyek akhir terapan ini, terdapat 3 struktur yang di hitung diantaranya pertama strutur catwalk sebagai jembatan penghubung dermaga dan mooring dolphin, yang kedua mooring dolphin sebegi struktur khusus untuk tambat kapal dan dermaga*

*itu sendiri sebagai penggerak segala kegiatan bongkar muat peti kemas. Struktur bawah direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang baja (steel pipe pile) mulai diameter 508mm tebal 14mm di catwalk sampai 1219mm tebal 22mm pada tiang crane dermaga. Untuk struktur yang menggunakan beton, dipakai beton mutu  $f'_c = 35$  MPa seperti plat dermaga dan mooring dolphin, balok, pilecap dan shear ring*

*Dari hasil modifikasi desain dermaga peti kemas diperoleh dimensi dermaga sepanjang 251m dan lebar 47,15m ditambah panjang catwalk 35 m dan panjang mooring 6m dengan jarak per tiang memanjang 8m dan lebar yang bervariasi menyesuaikan rel crane yang sesuai. Dimensi pelat tinggi 35 cm dan balok diantaranya untuk crane 1000mm x 2000mm, balok melintang dan memanjang 800 x 1800mm, balok tepi dan balok anak 500 x 800mm kemudian ada balok listplank 300 x 3500 dimensi pilecap 2000mm x 2000 x 1500 untuk tunggal selain crane dan tinggi 1750 untuk tiang crane agar memenuhi persyaratan geser pondasi. Dermaga menggunakan 2 alat yang berbeda kapasitas di sisi laut memakai STS (ship to shore) crane dan di sisi darat memakai Jib Portal crane untuk bongkar muat dan menggunakan truk trailer khusus bahan bakar gas ramah lingkungan ATT trailer*

***Kata kunci :Dermaga, Peti kemas ,50.000 DWT dan 10.000 DWT***

**DESIGN MODIFICATION OF JETTY  
FOR 50.000 DWT AND 10.000 DWT CONTAINER  
IN LAMONG BAY, SURABAYA**

**Name of Student : Fuad Andaru Baskara**  
**NRP : 3115 040 623**  
**Department : D4 Teknik Sipil FTSP – ITS**  
**Transportation Construction**

**Counsellor Lecture 1: Ir. Agung Budipriyanto. M.Eng., PhD.**  
**NIP : 19620328 198803 1 001**

**Counsellor Lecture 2: R. Buyung Anugraha A, ST., MT.**  
**NIP : 19740203 200212 1 002**

*Abstract*

*Design modification of jetty container is in port Lamong Bay Surabaya. Container of jetty is expected to reduce the waiting time (queue) ships in the Port of Tanjung Perak, as the gate of the economy of East Java and eastern Indonesia. Long-term care plans should be considered, therefore increasing the capacity and the addition of the pier is deemed necessary, added over time container flow is definitely increasing. Modification plan is reviewing container of jetty that will be planned in the bay Lamong so that it can serve vessels with a capacity of up to 50,000 DWT on the water side and 10,000 DWT on the land side*

*This applied in the final project, there are three structures were calculated including the first struktur catwalk is as a bridge jetty and mooring dolphin, second is mooring dolphin as special structure for mooring the ship and then the jetty itself as the driving force of all activities of loading and unloading of containers. Superstructure is planned use of pile foundation steel (steel pipe pile) ranging in from diameter 508mm with 14mm thick*

*to 1219mm thick 22mm catwalk at dermaga. For crane mast structure using concrete, the quality of concrete used  $f_c = 35$  MPa as plate dock and mooring dolphin , beams, and the shear ring pilecap*

*From the result of design modifications obtained jetty container, Jetty dimensions along is 251m and width of 47,15m lenght of catwalk is 35 m and mooring 6m. 8m is distance per steel pipe pile lengthwise and width of the crane rail bervariasi adjust accordingly. Dimension, plates 35 cm high and beam them to crane 1000mm x 2000mm, transverse beams and extends 800 x 1800m, edge beams and joists 500 x 800m and then there is a beam listplank 300 x 3500 pilecap dimension 2000m x 2000 x 1500 for a single in addition to cranes and tall 1750 to be eligible crane shear pons. Jetty is using two different tools capacities at the water side wearing STS (ship to shore) cranes and land side using Portal jib crane for unloading and use a special trailer truck fuel environmentally-friendly gas ATT trailer*

***Keywords: Jetty, Container, 50.000 DWT and 10.000 DWT***

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur, Alhamdulillah kami haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada kami. Shalawat serta salam yang selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga kami dapat menyelesaikan dan menyusun Proyek akhir Terapan ini dengan baik.

Tersusunnya Proyek Akhir Terapan dengan judul **“MODIFIKASI DESAIN DERMAGA PETI KEMAS DENGAN KAPASITAS 50.000 DWT DAN 10.000 DWT TELUK LAMONG, SURABAYA”** tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami sampaikan terima kasih terutama kepada :

1. Keluarga, khususnya kedua orang tua, budhe pak dhe, nenek, kakak, adik tercinta sebagai penyemangat terbesar yang telah banyak memberi dukungan secara materi maupun moral berupa doa.
2. Bapak Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D. sebagai dosen pembimbing satu dan Bapak R. Buyung Anugraha., S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dua yang banyak memberikan ilmu, kritik dan saran dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan ini
3. Rekan-rekan pengambil proyek akhir dermaga dan yang pernah kerja praktek di lokasi studi lainnya terimakasih atas data sekundernya
4. Rekan-rekan Diploma Teknik Sipil LJ dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu yang telah membantu, memberi doa dan memberikan semangat dalam penyelesaian proyek akhiri ini

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Proyek Akhir Terapan ini masih banyak kekurangan didalamnya dan masih sangat jauh dari kesempurnaan. Untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proyek akhir terapan

Semoga pembahasan yang kami sajikan dapat memberi manfaat bagi pembaca dan semua pihak, Amin.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2017

Fuad Andaru Baskara



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Lokasi Dermaga	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penetapan Dimensi	6
2.1.1 Dimensi Dermaga	6
2.1.2 Elevasi Apron	6
2.1.3 Dimensi Plat	7
2.1.4 Dimensi Balok Rencana	8
2.1.5 Dimensi Tiang Pancang Rencana	9
2.1.6 Dimensi Pilecap	11
2.2 Pembebanan	11
2.2.1 Beban Vertikal	12
2.2.2 Beban Horizontal	13
2.2.2.1 Beban Tumbuk Kapal	13
2.2.2.2 Beban bertambat Kapal	15
2.2.2.3 Beban Gempa	18
2.2.2.4 Beban Gelombang dan Arus	23
2.3 Analisa Struktur dan Penulangan	26
2.3.1 Penulangan Pada Plat	26
2.3.2 Kontrol Stabilitas Lendutan Plat	29

2.3.3 Penulangan Pada Balok .....	30
2.3.4 Kontrol Stabilitas Balok .....	36
2.3.5 Penulangan Pilecap.....	36
2.3.6 Analisa Daya Dukung Pondasi.....	37
<b>BAB III METODOLOGI</b>	
3.1 Pengumpulan Data.....	39
3.2 Spesifikasi Kapal .....	39
3.3 Spesifikasi Struktur .....	40
3.4 Analisa Perencanaan Struktur .....	40
3.5 Penggambaran Struktur.....	42
3.6 Penulisan Laporan.....	42
<b>BAB IV KRITERIA DESAIN</b>	
4.1 Peraturan yang Digunakan .....	45
4.2 Kriteria Kapal Rencana.....	45
4.3 Material .....	46
4.3.1 Beton .....	46
4.3.2 Baja Tulangan.....	46
4.3.3 Tiang Pondasi.....	47
4.4 Penetapan Tata Letak dan Dimensi.....	47
4.4.1 Penetapan Tata Letak .....	47
4.4.2 Penetapan Dimensi .....	55
4.4.2.1 Tebal Plat Dermaga dan Mooring Dolphin .....	55
4.4.2.2 Dimensi Balok Dermaga .....	55
4.4.2.3 Tiang Pancang Baja.....	58
4.4.2.4 Dimensi Pilecap.....	63
4.5 Pembebanan .....	63
4.5.1 Beban Vertikal.....	63
4.5.2 Beban Horizontal.....	67
<b>BAB V ANALISA STRUKTUR</b>	
5.1 Analisa Struktur .....	89
5.1.1 Model Dermaga, Mooring Dolphin dan Catwalk.....	89
5.1.2 Model Struktur Plat .....	90
5.2 Perencanaan Plat .....	95
5.2.1 Penulangan Plat Dermaga .....	95
5.2.2 Kontrol Lendutan Plat .....	102

5.3 Perencanaan Balok .....	103
5.3.1 Penulangan Balok Dermaga.....	103
5.4 Perencanaan Balok Fender .....	117
5.5 Perencanaan Pilecap .....	122
5.5.1 Penulangan Pilecap tipe A .....	122
5.5.2 Penulangan Pilecap tipe B.....	125
5.6 Perencanaan Mooring Dolphin .....	129
5.6.1 Penulangan Mooring Dolphin .....	130
5.7 Perencanaan CatWalk.....	135
5.7.1 Pembebanan .....	136
5.7.2 Kontrol Penampang.....	136
5.7.3 Kontrol Tekuk Lateral.....	136
5.7.4 Kontrol Lendutan Terjadi.....	137
5.7.5 Penulangan Pilecap Cat Walk .....	137
5.8 Perhitungan Panjang Penyaluran dan Base Plate.....	141
5.9 Perhitungan Daya Dukung Struktur Bawah .....	144
5.9.1 Daya Dukung Batas Pondasi .....	144
<b>BAB VI PENUTUP</b>	
6.1 Kesimpulan.....	153
6.2 Saran .....	158

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Elevasi Dermaga diatas HWS .....	7
Tabel 2.2 Ketentuan Penetapan Boulder .....	17
Tabel 2.3 Penjelasan Peta Gempa .....	19
Tabel 4.1 Spesifikasi Kapal Rencana Sisi Laut .....	45
Tabel 4.2 Spesifikasi Kapal Rencana Sisi Darat.....	46
Tabel 4.3 Spesifikasi Tiang Pancang .....	47
Tabel 4.4 Resume Balok Dermaga .....	58
Tabel 4.5 Data Tiang Pancang Dermaga .....	58
Tabel 4.6 Panjang Penjepitan T. Crane Dermaga .....	60
Tabel 4.7 Panjang Penjepitan T. Catwalk .....	60
Tabel 4.8 Panjang Penjepitan T. M. Dolphin.....	61
Tabel 4.9 Dimensi Pilecap Dermaga.....	63
Tabel 4.10 Dimensi Pilecap Catwalk.....	63
Tabel 4.11 Data Teknis Jib Portal Crane .....	66
Tabel 4.12 Gaya Tambat Kapal 50.000 DWT .....	77
Tabel 4.13 Perhitungan Resultan Gaya (sap2000).....	78
Tabel 4.14 Gaya Tambat Kapal 10.000 DWT .....	80
Tabel 4.15 Perhitungan Resultan Gaya (sap2000).....	82
Tabel 4.16 Data Tanah.....	83
Tabel 4.17 Kelas Situs .....	85
Tabel 4.18 Zona Gempa.....	86
Tabel 4.19 Respon Spektrum Wilayah Gempa Zona 3.....	87
Tabel 5.1 Dimensi Pilecap Dermaga.....	122
Tabel 5.2 Resume Tulangan Pilecap Dermaga .....	129
Tabel 5.3 Baja WF .....	135
Tabel 5.4 Resume Panjang Penyaluran.....	144
Tabel 5.5 Kapasitas Tiang Diameter 1422 mm Berdasarkan Data SPT .....	145
Tabel 5.6 Resume Daya Dukung Tanah terhadap Gaya yang Terjadi .....	152
Tabel 5.7 Resume Kapasitas Bahan Tiang Pancang .....	152
Tabel 6.1 Dimensi Balok Dermaga.....	151
Tabel 6.2 Dimensi Pilecap .....	153

Tabel 6.3 Pembebanan pada Dermaga.....	154
Tabel 6.4 Penulangan Plat Lantai .....	155
Tabel 6.5 Penulangan Balok Dermaga .....	156
Tabel 6.6 Penulangan Pilecap.....	156
Tabel 6.7 Resume Daya Dukung Tiang.....	157



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gambaran Lokasi Dermaga Peti Kemas .....	3
Gambar 2.1	Sketsa Definisi Kedalaman Min T Pancang.....	10
Gambar 2.2	Data Truk Trailer .....	12
Gambar 2.3	JIB Portal Crane Untuk Sisi Darat .....	13
Gambar 2.4	Peta Gempa (PGA) 50 th .....	20
Gambar 2.5	Peta Gempa (Ss) 50 th.....	20
Gambar 2.6	Peta Gempa (S1) 50 th .....	21
Gambar 2.7	Peta Gempa (PGA) 75 th .....	21
Gambar 2.8	Peta Gempa (Ss) 75 th.....	22
Gambar 2.9	Peta Gempa (S1) 75 th .....	22
Gambar 2.10	Grafik Penentuan Teori Gelombang .....	24
Gambar 2.11	Diagram Alir Perhitungan Plat.....	28
Gambar 2.12	Diagram Alir Perhitungan Torsi.....	32
Gambar 2.13	Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser.....	35
Gambar 3.1	Bagan Metodologi Perencanaan.....	44
Gambar 4.1	Layout Dermaga.....	49
Gambar 4.2	Posisi Dermaga Sisi Laut Terhadap Kapal.....	51
Gambar 4.3	Posisi Dermaga Sisi Darat Terhadap Kapal .....	52
Gambar 4.4	Tampak Depan Dermaga.....	53
Gambar 4.5	Tampak Samping Dermaga.....	54
Gambar 4.6	Sketsa Kedalaman Minimum Tiang Pancang .....	49
Gambar 4.7	ATT ( <i>Automotive Trailer Tractor</i> ).....	64
Gambar 4.8	Dyna Arch Fender Tipe A.....	68
Gambar 4.9	Pemasangan Fender Arah Horizontal.....	70
Gambar 4.10	Dyna Arch Fender Tipe A.....	71
Gambar 4.11	Pemasangan Fender Arah Horizontal.....	73
Gambar 4.12	Gaya yang Bekerja Pada Bollard .....	74
Gambar 4.13	Data Bollard yang Dipakai Sisi Laut .....	77
Gambar 4.14	Data Bollard yang dipakai Sisi Darat .....	81
Gambar 4.15	Model Gelombang dan Arus APIWSD2000 .....	82
Gambar 4.16	Grafik Respons Spektrum .....	87
Gambar 5.1	Model Struktur Dermaga.....	89
Gambar 5.2	Model Struktur Mooring Dolphin .....	90

Gambar 5.3 Model Struktur Catwalk.....	90
Gambar 5.4 Contoh Tipe Plat .....	91
Gambar 5.5 Tipe Tumpuan Plat Tepi .....	91
Gambar 5.6 Kontur momen plat akibat beban mati merata Arah M11 .....	92
Gambar 5.7 Kontur momen plat akibat beban mati merata Arah M22 .....	92
Gambar 5.8 Kontur momen plat akibat beban Truk Arah M11 .....	92
Gambar 5.9 Kontur momen plat akibat beban Truk Arah M22 .....	92
Gambar 5.10 Kontur momen plat akibat beban Crane 1 Arah M11 .....	93
Gambar 5.11 Kontur momen plat akibat beban Crane 1 Arah M22 .....	93
Gambar 5.12 Kontur momen plat akibat beban Crane 2 Arah M11 .....	93
Gambar 5.13 Kontur momen plat akibat beban Crane 2 Arah M22 .....	93
Gambar 5.14 Kontur momen plat akibat beban Hidup UDL 1 Arah M11 .....	94
Gambar 5.15 Kontur momen plat akibat beban Hidup UDL 1 Arah M22 .....	94
Gambar 5.16 Kontur momen plat akibat beban Hidup UDL 5 Arah M11 .....	94
Gambar 5.17 Kontur momen plat akibat beban Hidup UDL 5 Arah M22 .....	94
Gambar 5.18 Detail Balok Fender 1 .....	117
Gambar 5.19 Gaya dan Penumpu Balok Fender 1.....	117
Gambar 5.20 Detail Balok Fender 2 .....	119
Gambar 5.21 Gaya dan Penumpu Balok Fender 2.....	120
Gambar 5.22 Pilecap Tipe A .....	122

Gambar 5.23 Tampak Atas Pilecap Tipe A .....	123
Gambar 5.24 Tampak Atas Pilecap Tipe B.....	125
Gambar 5.25 Tampak Atas Mooring Dolphin .....	130
Gambar 5.26 Tampak Atas Pilecap Catwalk .....	137
Gambar 5.27 Asumsi Panjang Tekuk Tiang .....	149
Gambar 5.28 Posisi/Keterangan T.Pancang Baja Dermaga.....	151

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pelabuhan Tanjung Perak mempunyai pengaruh besar dalam pertumbuhan ekonomi di provinsi Jawa Timur, terutama di wilayah industri dan komoditas non migas. Seiring berjalanya waktu pertumbuhan ekonomi Jawa Timur semakin meningkat. Rata – rata angka pertumbuhannya 0.52 % di atas Pertumbuhan Nasional. Pelabuhan Tanjung Perak juga menjadi pusat distribusi barang di seluruh wilayah Indonesia timur yang menjadikan pengguna jasa kepelabuhanan di Surabaya khususnya, memerlukan pelayanan yang lebih efektif dan efisien dari penyedia jasa kepelabuhanan sehingga pendistribusian barang menjadi lebih cepat, aman dan dengan biaya yang memadai.

Padatnya antrian arus distribusi barang peti kemas. tahun 2009 arus petikemas di lingkungan PT Pelindo III ( persero ) 2,9 juta TEU's / 2,4 juta box sampai pada tahun 2013 sebanyak 4 juta TEU's atau 3,5 juta box. Dalam kurun waktu tersebut tidak sebanding dengan kapasitas yang dimiliki oleh PT Pelindo III ( persero ). Sehingga mengakibatkan antrian yang padat dan biaya logistik menjadi tinggi dan akan memberikan dampak negatif dan tendensi yang buruk bagi dunia logistik di Indonesia. Ditambah lagi tren arus petikemas dan produksi lainnya yang meningkat terus dari tahun ke tahun.

Pembangunan pelabuhan terminal teluk lamong dermaga petikemas diharapkan dapat mengurangi waktu tunggu (antrian) Kapal di Pelabuhan Tanjung Perak, selaku pintu gerbang perekonomian Jawa Timur dan Kawasan Timur Indonesia. Rencana pelayanan jangka panjang harus dapat dipikirkan, oleh karena itu peningkatan kapasitas serta

penambahan dermaga dirasa perlu, ditambah seiring berjalanya waktu arus peti kemas pasti meningkat . Modifikasi perencanaan dermaga ini meninjau dermaga peti kemas yang akan direncanakan di teluk lamong sehingga dapat melayani kapal dengan kapasitas sampai 50.000 DWT di sisi laut dan 10.000 DWT di sisi darat

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang diatas, maka dapat ditarik rumusan masalah yaitu, bagaimana cara memodifikasi struktur dermaga peti kemas yang mampu melayani kapal dengan kapasitas rencana maksimal 50.000 DWT. di sisi laut dan 10.000 DWT di sisi darat

## **1.3 Batasan Masalah**

Mengingat luasnya bidang perencanaan yang akan timbul dalam penyusunan tugas akhir dan keterbatasan waktu maupun disiplin ilmu yang dikuasai, maka perlu dipakai batasan permasalahan yang meliputi :

1. Perhitungan struktur dititik beratkan pada struktur dermaga dan fasilitas mooring dolphin serta catwalk
2. Perumusan yang digunakan sesuai dengan literatur yang sudah ada sehingga tidak ada penurunan rumus.
3. Modifikasi desain struktur yang dilakukan adalah untuk mengetahui dimensi, analisis struktur dan kontrolnya tidak meninjau analisa anggaran biaya.
4. Analisa struktur menggunakan program SAP 2000.

## **1.4 Tujuan**

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah memodifikasi desain dermaga petikemas dengan kapasitas 50.000 DWT dan 10.000 DWT

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari proyek akhir modifikasi desain dermaga peti kemas dengan kapasitas 50.000 DWT dan 10.000 DWT di Teluk Lamong, Surabaya adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi dalam merencanakan struktur dermaga bagi pembaca.

## 1.6 Lokasi Dermaga

Geografis : Daerah Pantai, Teluk Lamong Surabaya  
 Lingkungan : Kawasan Pelabuhan  
 PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero)  
 Lintang :  $7^{\circ} 11' 08.1''$  Lintang Selatan  
 Bujur :  $112^{\circ} 41' 10.4''$  Bujur Timur



Gambar 1.1. Gambaran Lokasi Dermaga Peti Kemas Teluk Lamong, Surabaya



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Ada beberapa tahap yang akan dikerjakan dalam perencanaan struktur dermaga ini. Tahap pertama yaitu penetapan dimensi dermaga dan dimensi elemen struktur lainnya. Penetapan dimensi dermaga meliputi penetapan panjang, lebar, dan elevasi dermaga yang mengacu pada *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia 1984*. Ada beberapa hal yang ditinjau dalam penetapan dimensi elemen struktur yaitu elemen plat, balok, pilecap dan tiang pancang berdasarkan **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992**.

Tahap kedua adalah perencanaan pembebanan yang meliputi beban vertikal dan beban horizontal. Yang termasuk beban vertikal yaitu beban mati dan beban hidup, sedangkan beban horizontal terdiri dari beban tumbukan kapal, beban tambat kapal, beban gempa, dan beban gelombang. Dalam perencanaan pembebanan ini berdasarkan pada peraturan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia 1984* dan *Technical Standards for Ports and Harbour Facilities in Japan, 1980*.

Tahap ketiga adalah penulangan elemen struktur plat dan balok. Perencanaan penulangan berdasarkan pada **PBI 1971** dan **SNI T-12-2004**.

Tahap keempat adalah perhitungan daya dukung pondasi. Dalam perhitungan daya dukung pondasi, pembebanan diperoleh dari permodelan struktur dan perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil penyelidikan tanah.

## 2.1. Penetapan Dimensi

Perencanaan dimensi demaga ini meliputi, dimensi dermaga, elevasi apron, plat, balok memanjang, tiang pancang dan pile cap (pilecap).

### 2.1.1 Dimensi Dermaga

Panjang dermaga ditentukan berdasarkan ukuran serta jumlah kapal yang bertambat. Secara prinsip menurut *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, 1984*, pasal VII.1.1. halaman 29, panjang dermaga rencana adalah  $Loa + 10 \text{ m}$  atau  $Loa + 10 \% \text{ Loa}$ .

Sedangkan untuk lebar apron dermaga secara umum ditentukan dengan mempertimbangkan kegunaan dari dermaga tersebut, ditinjau dari jenis dan volume barang yang ditangani serta sistem penanganannya. Lebar apron dermaga juga disesuaikan dengan kebutuhan manuver truk.

### 2.1.2 Elevasi Apron

Penetapan kedalaman air rencana pada perencanaan dermaga ini didasarkan pada *Standard design Criteria for Ports ini Indonesia, 1984*, pasal 6.2.5 halaman 27, yaitu  $(1,05 - 1,15) \times \text{sarat maksimum}$ .

Pengertian apron pada dermaga adalah bagian (area) muka dermaga sampai ke depan gudang tempat terdapat pengalihan kegiatan angkutan laut (kapal) ke kegiatan angkutan darat. Dalam perencanaan ini penentuan elevasi lantai dermaga (apron) ditentukan oleh keadaan pasang surut dan jenis kapal rencana. Berdasarkan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, 1984*, pasal VII.1.3.halaman 29, ditentukan besarnya elevasi lantai dermaga diatas HWS berdasarkan besarnya pasang surut air laut dan kedalaman air rencana sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Elevasi Dermaga diatas HWS

	Pasang Surut terbesar 3m atau lebih	Pasang surut kurang dari 3 m
Dermaga untuk kapal – kapal yang memerlukan kedalaman air $\geq 4,5$ m	0,5 – 1,5 m	1,0 – 3,0 m
Dermaga untuk kapal – kapal yang memerlukan kedalaman air $< 4,5$ m	0,3 – 1,0 m	0,5 – 1,5 m

Berdasarkan ketentuan tabel 2.1., penentuan elevasi apron dengan kedalaman air rencana 4,5 m atau lebih besar, pasang surut lebih dari 3 m adalah 0,5 – 1,5 m diatas HWS.

### 2.1.3 Dimensi Plat

Pada perencanaan dermaga, lantai dermaga berfungsi sebagai penerima beban mati dan beban hidup yang bekerja langsung di atasnya. Beban yang diterima beserta berat sendiri diteruskan ke balok melintang dan memanjang. Pada lantai dermaga terdapat boulder untuk menambatkan kapal.

Pelat lantai pada dermaga berdasarkan **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 Tabel 5.2 hal 5-4**, harus mempunyai tebal minimum (D) yang memenuhi kedua ketentuan berikut:

$$D \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots(2-1)$$

$$D \geq 100 + 0,04L \text{ mm} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan :

D = tebal plat lantai (mm)

L = bentang dari plat lantai antara pusat dan tumpuan

### 2.1.4 Dimensi Balok Rencana

Dalam suatu struktur dermaga, terdapat balok yang terletak di bawah plat lantai dermaga yang terdiri dari balok memanjang dan melintang. Perencanaan dimensi balok memanjang dan melintang mengacu pada **Panduan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 Section 5 hal.5-4**, yakni tinggi efektif gelagar (balok melintang dan memanjang) dengan kekakuan mamadai direncanakan berdasarkan ketentuan berikut ini :

$$D \geq 165 + 0.06L \dots\dots\dots (2-3)$$

Dengan :

D = tinggi gelagar (balok memanjang dan melintang)

L= panjang gelagar (balok melintang dan memanjang)

### Kontrol Kelangsingan Balok

Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 pasal 6.5.8.2 hal : 6 - 47** Kontrol kelangsingan minimum balok atau gelagar digunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{Lt}{b_{eff}} \geq 240 \frac{b_{eff}}{D} \dots\dots\dots (2-4)$$

$$\frac{Lt}{b_{eff}} \geq 60 \dots\dots\dots (2-5)$$

Dengan :

Lt = Jarak antar pengeang melintang (mm)

b<sub>eff</sub> = Lebar balok (mm)

D = Tinggi total balok (mm)

### 2.1.5 Dimensi Tiang Pancang Rencana

Jenis pondasi pada struktur bangunan bawah dermaga Batubara ini direncanakan menggunakan tiang pancang baja (*steel pipe piles*). Dalam perencanaan dimensi tiang pancang dilakukan trial dan error (coba-coba) dengan menggunakan SAP 2000, dicari kemungkinan model struktur yang mengalami defleksi terkecil, dengan mempertimbangkan :

- Model struktur potongan melintang
- Susunan tiang pancang
- Banyak sedikitnya tiang pancang
- Modifikasi dimensi tiang pancang

### Penentuan Panjang Penjepitan Tiang

Pondasi tiang pancang dimodelkan dengan perletakan jepit pada kedalaman dimana diasumsikan tiang pancang berada pada kondisi terjepit penuh.

Perhitungan awal panjang titik jepit dilakukan dengan metode OCDI (2002). Kedalaman titik jepit virtual ini dapat dipertimbangkan berada pada kedalaman  $x$  di bawah muka tanah. Nilai  $x$  sendiri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$x = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{K_h B}{4 E I}}} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dengan :

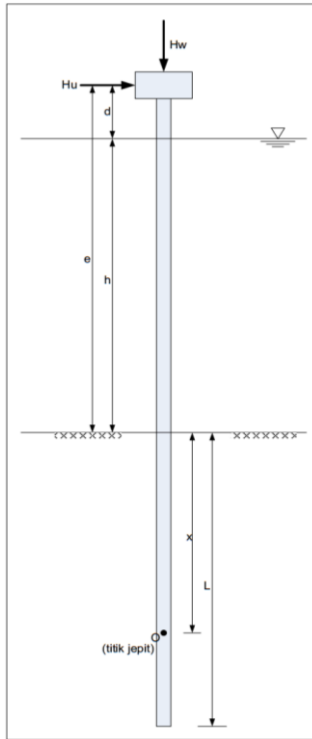
$K_h$  = Subgrade reaction number

=  $0.15 \cdot \text{NSPT (kg/cm}^3\text{)}$

$B$  = Diameter tiang (cm)

$E$  = modulus elastic tiang =  $2.1 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$   
(untuk tiang pancang baja)

$I$  = momen inersia tiang (cm<sup>4</sup>)



Gambar 2.1. Sketsa definisi kedalaman minimum tiang pancang

Dengan :

$H_u$  = gaya lateral pada dermaga

$H_w$  = gaya normal pada dermaga

$d$  = jarak dari pusat beban lateral ke muka air

$h$  = kedalaman perairan

$e$  = jarak dari pusat beban lateral ke dasar perairan

$O$  = titik jepit tiang pancang

$x$  = jarak dari muka tanah ke titik jepit tiang

$L$  = panjang tiang terbenam

Dari sketsa definisi tersebut, kedalaman tiang pancang yang dimaksud adalah nilai  $L$  dan  $x$ .  $L$  adalah kedalaman tiang pancang di dalam tanah yang mampu menerima beban-beban yang bekerja pada arah lateral,  $H_u$ , dan arah aksial,  $H_w$ .  $x$  adalah panjang tiang pancang di dalam tanah sampai ke titik jepitnya atau *fixity point*.

Untuk memperhitungkan pengaruh teknik baik selama pemancangan maupun saat memikul beban permanen, diambil persyaratan teknis menurut ***Technical Standards For Port and Harbour Facilities in Japan 1980*** sebagai berikut :

Untuk pile baja:

$$\alpha = 0 \rightarrow \frac{l}{d} \leq 120 \dots\dots\dots(2-7)$$

$$\alpha = \frac{l}{2a} - 60 \rightarrow \frac{l}{d} > 120 \dots\dots\dots(2-8)$$

Dengan :

$l$  = Panjang tiang yang berpengaruh tekuk (mm)

$d$  = Panjang diameter tiang (mm)

$\alpha$  = Faktor reduksi

### 2.1.6 Dimensi Pilecap

Pilecap berfungsi sebagai konstruksi penahan eksentrisitas di lapangan. Penentuan dimensi pilecap dalam perencanaan didasarkan pada kekuatan pilecap itu sendiri.

## 2.2 Pembebanan

Pada struktur dermaga, beban – beban yang bekerja meliputi beban vertikal (beban sendiri struktur, beban lantai dan balok, beban truk, beban crane) dan beban horizontal (beban benturan kapal, beban tambatan kapal, gaya gempa, gaya gelombang). Hasil perhitungan beban secara manual akan diinput kedalam program komputer SAP 2000 untuk mengetahui gaya axial, gaya geser (shear force), momen dan torsi.



### 2.2.1 Beban Vertikal

a. **Beban Berat Sendiri Konstruksi (beban merata):**

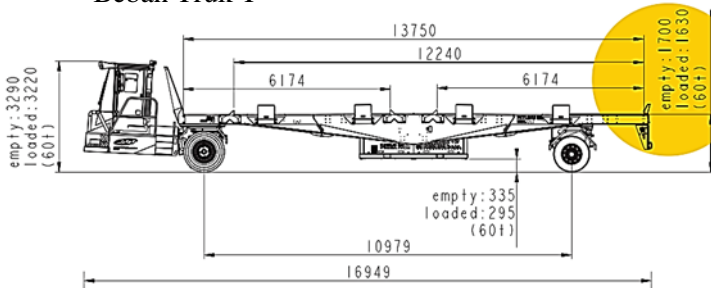
- Beban sendiri plat lantai kendaraan ( $t = 35 \text{ cm}$ )

b. **Beban Hidup Merata.**

Beban hidup merata biasanya untuk menampung muatan-muatan (dalam hal ini Batubara) dan umumnya diambil 2000 s.d 4000 kg/m<sup>2</sup>. (Soedjono Kramadibrata, 2002 : 233)

c. **Beban Terpusat**

- Beban Truk T



## 2. Chassis

### 2.1. Front axle (powered)

Steering axle, permissible axle load 35 t at 25 km/h

### 2.2. Rear axle (not powered)

High capacity axle, permissible axle load 50 t at 25 km/h

Gambar 2.2. Truk trailer

- Beban Crane STS dan JIB Portal Crane



Gambar 2.3. JIB Portal Crane untuk Sisi Darat Dermaga 10.000 DWT

Beban diuraikan dengan perbedaan beban sisi laut dan sisi darat saat mengangkat beban, diambil asumsi 5/6 dari sisi laut

### **2.2.2 Beban Horizontal**

#### **2.2.2.1 Beban Tumbukan Kapal (*Berthing Force*)**

Pada saat merapat ke dermaga kapal masih mempunyai kecepatan sehingga akan terjadi benturan antara kapal dan dermaga. Gaya yang ditimbulkan oleh benturan tersebut disebut gaya sandar (*Berthing Forces*). Dalam perencanaan dianggap bahwa benturan maksimum terjadi apabila kapal bermuatan penuh menghantam dermaga pada sudut  $10^\circ$  terhadap sisi depan dermaga.

Besar energi tumbukan dihitung berdasarkan rumus pada buku **Perencanaan Pelabuhan Bambang Triadmodjo, 2010, Hal 218**. Rumus ini digunakan dengan mempertimbangkan metode merapat kapal serta jenis fender yang akan digunakan.

$$E = \frac{W.V^2}{2g} C_m . C_e . C_s . C_c \dots\dots\dots (2-9)$$

Dengan :

E = Energi tambat kapal (tm)  
v = Kecepatan bertambat kapal (m/s)  
g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>) = 9,8 m/s<sup>2</sup>  
W = Virtual Weight  
C<sub>m</sub> = Koefisien massa  
C<sub>e</sub> = Koefisien eksentrisitas  
C<sub>s</sub> = Koefisien kekerasan  
C<sub>c</sub> = Koefisien bentuk

- **Penentuan Tipe dan Dimensi Fender**

Tipe dan dimensi fender harus memenuhi syarat, yaitu :

$$E \text{ (energy tumbukan) (ton)} \leq n \times E_{\text{fender}} \text{ (ton)}$$

- **Jarak Fender**

Spasi Fender arah horisontal menurut *New Selection of Fender, Sumitomo, pasal 5-1 rumus 9.1* adalah :

$$\text{Jarak Fender} = 2 \sqrt{Hf \left[ \frac{B}{2} + \frac{L^2}{8b} - Hf \right]} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dengan :

H<sub>f</sub> = Tebal Fender (m)  
B = Lebar Kapal (m)  
L = Panjang Kapal (m)

- **Penentuan Elevasi Fender**

a. Elevasi Tepi Atas Fender

$$hi = \frac{Hf(1-\delta_{\text{maks}})}{\text{tg}\theta} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan :

hi = Jarak Atas Fender (m)

$H_f$  = Tebal Fender (m)  
 $\delta_{maks}$  = Defleksi maksimum rencana (%)

b. Elevasi Tepi bawah

Penentuan elevasi tepi bawah fender yaitu :

Elevasi tepi bawah = Elv. Top of fender -  $L_{fender}$

• **Penentuan gaya reaksi Fender (R)**

a. Energi yang diserap fender ( $E_{fender}$ )

$$E_{fender} = \frac{E}{2 \times L_s} \dots\dots\dots(2-12)$$

Dengan :

$E_{fender}$  = Energi yang diserap Fender (KNm)

E = Energi tumbukan (KNm)

$L_s$  = Tinggi bidang sentuh rencana antar kapal dan fender (m)

b. Energi reaksi tiap fender ( $E_{fender}$ )

$$R' = \frac{R_n}{L} \times L_s' \dots\dots\dots(2-13)$$

Dengan :

$R'$  = Reaksi Tiap Fender (KN)

$R_n$  = Karakteristik fender rencana (ton/m), nilai  $R_n$  ditentukan berdasarkan kurva karakteristik fender rencana

$L_s'$  = Tinggi bidang sentuh kapal terkoreksi (m)

L = Panjang Fender (m)

### 2.2.2.2 Beban Bertambat Kapal (*Mooring Force*)

Kapal yang merapat di dermaga akan ditambat dengan menggunakan tali ke alat penambat yang disebut *Bollard*. Pengikatan ini dimaksudkan untuk menahan gerakan kapal yang disebabkan oleh angin dan arus. Gaya tarikan kapal pada alat penambat yang disebabkan oleh tiupan angin dan

arus pada badan kapal disebut dengan gaya tambat (*Mooring Forces*). *Bollard* diangker pada dermaga dan harus mampu menahan gaya tarikan kapal. Berikut ini metode untuk menghitung gaya tarikan kapal yang ditimbulkan oleh angin dan arus.

- **Gaya Tambat Kapal Akibat Pengaruh Angin**

Secara umum, gaya akibat pengaruh angin dihitung berdasarkan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, 1984, hal. 11* dengan rumus sebagai berikut:

$$R_w = 0,5 \times \rho \times C \times v^2 \times (A \cos^2 \theta + B \sin^2 \theta) \dots\dots (2-14)$$

Dengan :

$R_w$  = Gaya resultan akibat pengaruh angin (Kg)

$\rho$  = berat jenis udara ( $0,123 \text{ kg.s}^2/\text{m}^4$ )

$C$  = Koefisien Tekanan Angin

$A$  = Luas bagian depan kapal diatas permukaan air ( $\text{m}^2$ )

$B$  = Luas bagian samping kapal diatas permukaan air ( $\text{m}^2$ )

$\theta$  = Sudut arah angin terhadap sumbu kapal ( $^\circ$ )

- **Gaya Tambat Kapal Akibat Pengaruh Arus**

Secara umum, gaya akibat pengaruh arus dihitung berdasarkan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, 1984, hal. 12* dengan rumus sebagai berikut:

$$R = C_c \times \gamma_c \times A_c \times v^2 / 2g \dots\dots\dots (2-15)$$

Dengan :

$R$  = Gaya resultan arus (ton)

$\gamma_c$  = Berat jenis air laut ( $\text{t/m}^3$ )

$C_c$  = Koefisien tekanan arus

$A_c$  = Luas tampang kapal yang terendam air ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan arus ( $\text{m/s}$ )

- **Menentukan posisi boulder dermaga**

Penentuan posisi boulder berdasarkan ketentuan *Standard Design Criteria for Ports in Indonesia, 1984, tabel 7.5 hal. 33* adalah sebagai berikut :

Gross Tonnage of ship (Ton)	Max. Spacing of Bollard (m)	Min. Number of Installation per Berth
- 2.000	10 - 15	4
2.001 - 5.000	20	6
5.001 - 20.000	25	6
20.001 - 50.000	35	8
50.001 - 100.000	45	8

Tabel 2.2. Ketentuan Penetapan Boulder

- **Perencanaan Dimensi Boulder**

- Perhitungan gaya-gaya yang diterima boulder untuk menentukan dimensi boulder
- Menentukan diameter angker boulder dengan menggunakan rumus :

$$d = \sqrt{\frac{As}{\pi}} \dots\dots\dots(2-16)$$

Dengan :

d = Diameter angker boulder (mm)

As = Luas Angker Boulder

$\pi$  = 3,14

- Menentukan tebal plat dasar dengan menggunakan rumus :

$$tp = \sqrt{\frac{6M}{l_{plat} \times \sigma}} \dots\dots\dots(2-17)$$

Dengan :

tp = Tebal plat dasar (mm)

$l_{plat}$  = diambil per 1 meter = 1000 mm

$\sigma$  = 2400 kg/cm<sup>2</sup> = 235,2 N/mm<sup>2</sup>

Dengan memperhitungkan korosi selama umur dermaga dengan laju korosi per tahun, maka:

$$tp' = tp + (\text{umur rencana} \times \text{laju korosi})$$

- Menentukan penjangkaran baut boulder

$$L_{\text{penjangkaran}} = \frac{100 \times d_{\text{angker}}}{\sqrt{f_{c'}}} \dots\dots\dots (2-18)$$

### 2.2.2.3 Beban Gempa

Dalam perencanaan dermaga pengaruh dari gempa diperhitungkan, sehingga dermaga tersebut nantinya mampu menahan beban gempa yang terjadi. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan factor modifikasi respon ( $R$ ) (**RSNI 2833-2013**) dengan formulasi sebagai berikut:

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \dots\dots\dots (2-19)$$

Dengan :

EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN)

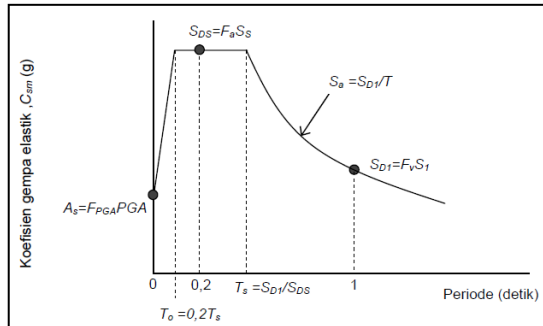
CSM = Koefisien respon gempa elastik pada moda getar ke-m

R = Faktor modifikasi respon

Wt = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

Koefisien respons elastik  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan (**Gambar 2.3** hingga **Gambar 2.8**) sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana.

Pada perencanaan ini, beban gempa menggunakan fungsi *respon spectrum* yang diinput pada program bantu SAP 2000. Metode gempa ini menggunakan metode gempa dinamis. Grafik respon spektrum dapat dilihat pada gambar berikut:

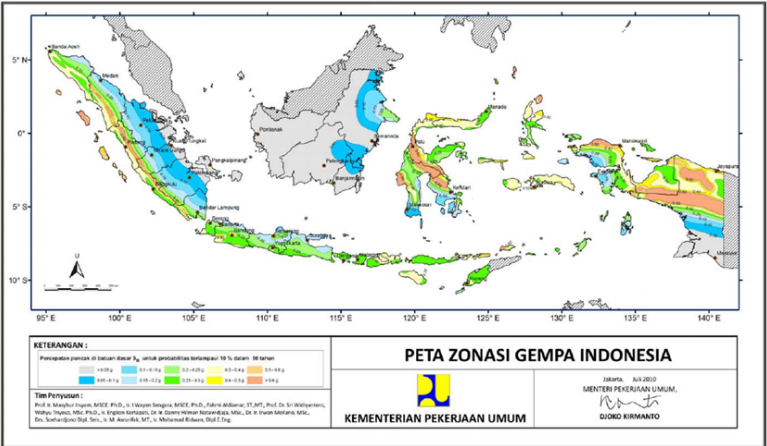


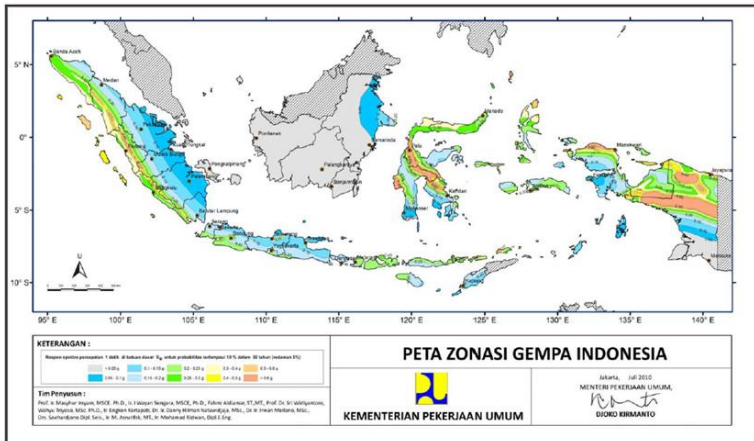
Berikut gambar peta percepatan batuan dasar dan respons spektra percepatan yang penjelasannya dapat dilihat pada tabel 2.3

No	No Gambar	Level Gempa	Keterangan
1	Gambar 2.4	10% dalam 50 tahun (500 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 2.5		Peta respons spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar ( $S_s$ )
3	Gambar 2.6		Peta respons spektra percepatan 1.0 detik di batuan dasar ( $S_1$ )
4	Gambar 2.7	7% dalam 75 tahun (1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
5	Gambar 2.8		Peta respons spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar ( $S_s$ )
6	Gambar 2.9		Peta respons spektra percepatan 1.0 detik di batuan dasar ( $S_1$ )

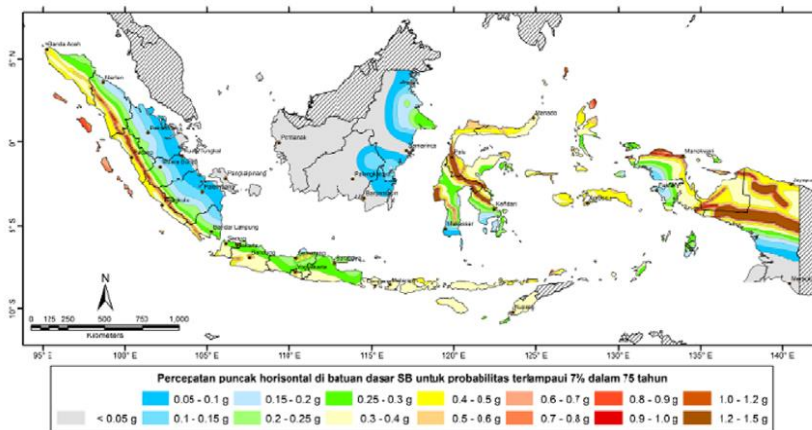
Tabel 2.3 Penjelasan Peta Gempa



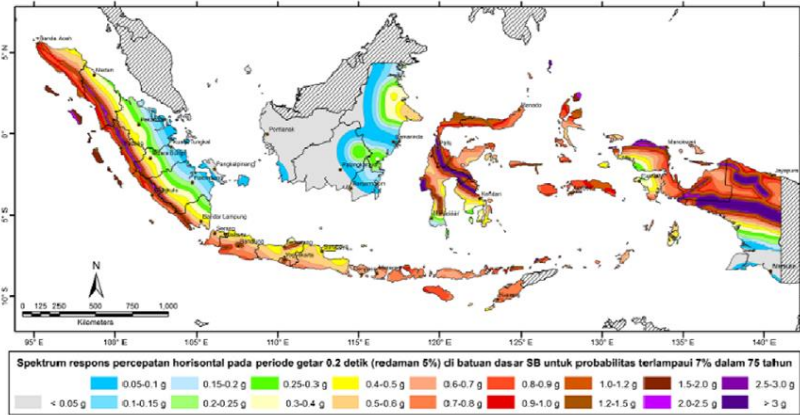




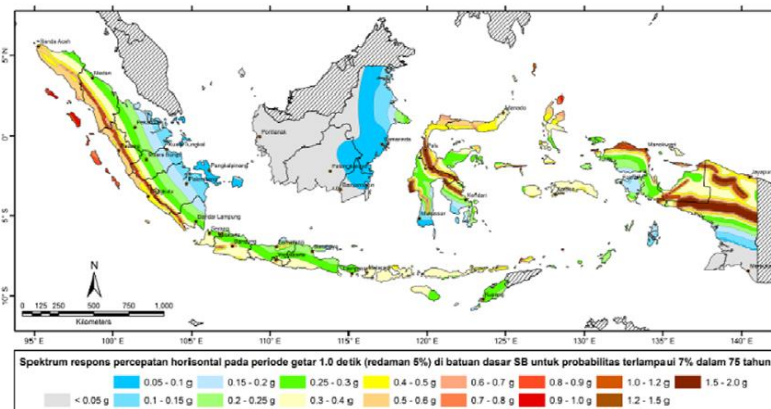
**Gambar 2.6 Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun**



**Gambar 2.7 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun**



Gambar 2.8 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun



Gambar 2.9 Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

Koefisien respons gempa elastik ditentukan berdasarkan 3 kondisi, yaitu:

1. Untuk  $T < T_0$

$$C_{sm} = (SDS - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

$$A_s = FPG \times PGA \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

Dengan :

$CSM$  = Koefisien gempa elastik

$SDS$  = Nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ( $T = 0,2$  detik)  
 $FPGA$  = Faktor amplikasi periode pendek  
 $PGA$  = Percepatan puncak batuan dasar

2. Untuk  $T_0 < T < T_s$

$$C_{sm} = SDS \dots\dots\dots(2-22)$$

3. Untuk  $T > T_s$

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \dots\dots\dots(2-23)$$

Dengan :

$SD1$  = Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1 detik  
 $CSM$  = Koefisien gempa elastik

Setelah nilai koefisien gempa elastik diperoleh, langkah selanjutnya ialah menentukan nilai factor modifikasi respon ( $R$ ). Berdasarkan **RSNI 2833-2013 pasal 5.9.3.2.**, nilai faktor modifikasi respon untuk gaya gempa yang dimodifikasi diambil sama dengan 1.

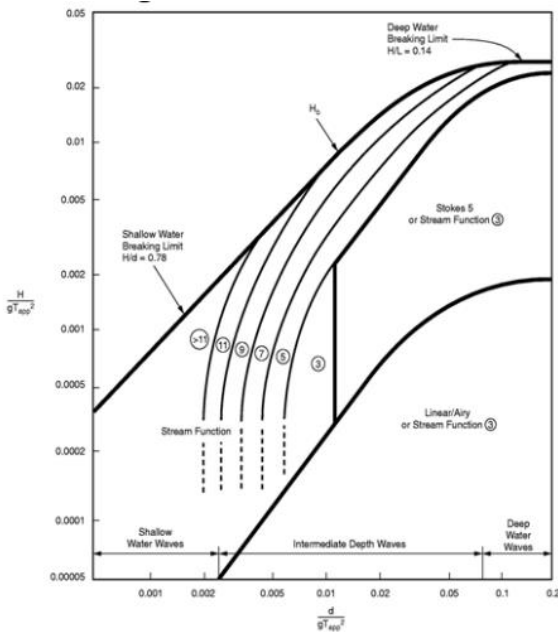
#### 2.2.2.4 Beban Gelombang dan Arus

Gelombang terjadi akibat gangguan pada fluida. Gangguan tersebut dapat berupa gangguan pada permukaan air seperti hembusan angin atau dapat juga berupa gangguan pada dasar laut seperti pergerakan tanah atau gempa bumi. teori yang membahas beban aksi gelombang

1. Teori StokesStokes (1847) mengembangkan teori gelombang Airy dengan melanjutkan analisis sampai orde ke-tiga untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik dalam kecuraman muka gelombang (wave steepness)  $H/L$ . Pengembangan lebih jauh dilakukan oleh Skjelbra dan Hendrickson (1961) sampai ode ke-5 yang sampai saat ini banyak digunakan dalam perhitungan teknik kelautan untuk gelombang dan amplitudo kecil. Karena masalah konvergensi yang lebih sulit untuk kondisi laut dangkal, teori gelombang

stokes orde-5 dianggap valid untuk kondisi perairan dimana rasio kedalaman  $h/L$  lebih besar dari  $1/10$ . Kondisi ini umumnya sesuai dengan gelombang badai (storm wave) yang biasanya diperhitungkan dalam perancangan bangunan lepas pantai.

Penentuan teori gelombang yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan grafik yang terdapat pada API RP-2A



WSD2000 sebagai berikut :

Gambar 2.10. Grafik Penentuan Teori Gelombang  
(Sumber : API RP-2A WSD – 2000)

Sesuai dengan grafik 2.11 maka perlu dihitung dulu parameter – parameter yang diperlukan untuk menentukan teori gelombang yang diperlukan. Berikut adalah perhitungan parameter untuk penentuan teori gelombang yang digunakan :

$$\frac{H}{gT^2} = \frac{0,5 \text{ m (Tinggi Gelombang)}}{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (2,9 \text{ s})^2 (\text{Periode})} = 0,00606$$

$$\frac{d}{gT^2} = \frac{15 \text{ m (seabed)}}{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot (2,9 \text{ s})^2 (\text{Periode})} = 0,18$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan bahwa teori gelombang yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah teori Stokes orde 5.

### 2.2.3 Kombinasi Pembebanan

Di dalam *Standard Design Criteria For Port in In Indonesia, januari (1984)* tidak mengatur cara kombinasi pembebanan tetapi hanya mengatur besarnya beban-beban yang bekerja. Sedangkan pada *Technical Standards For Port and Harbour Facilities in Japan (1980)*, pasal 8.3 ayat 1 disebutkan bahwa beban gempa, angin dan gaya tarik boulder dianggap sebagai beban pada kondisi khusus, yaitu beban sementara. Dalam perencanaan ini kombinasi pembebanan yang digunakan merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002). Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah sebagai berikut:

- a. Kondisi Operasi
  - 1,4DL
  - 1,2DL + 1,6LL
- b. Kondisi Kapal Sandar
  - 1,2DL + 1,6LL + 1,6BL
  - 1,2DL + 1,6LL + 1,6ML
- c. Kondisi Gempa
  - 1,2DL + 0,9LL + 1,0GX + 0,3GY
  - 1,2DL + 0,9LL - 1,0GX - 0,3GY
  - 1,2DL + 0,9LL + 1,0GY + 0,3GX
  - 1,2DL + 0,9LL - 1,0GY - 0,3GX

Dengan :

DL = Dead Load (beban mati)

LL = Live Load (beban hidup)

ML = Mooring Load (beban tambat)

BL = Berthing Load (beban benturan)

GX = Beban gempa yang bekerja pada arah X

GY = Beban gempa yang bekerja pada arah Y

## 2.3 Analisa Struktur dan Penulangan

### 2.3.1 Penulangan Pada Plat

Perencanaan penulangan plat dihitung dengan metode momen ultimate didasarkan pada besarnya momen yang terjadi akibat beban-beban yang bekerja.

Standar yang dipergunakan dalam perencanaan pelat beton bertulang adalah **SNI T-12-2004**. Langkah-langkah perhitungan tulangan lentur pelat lantai adalah sebagai berikut:

1. Menghitung momen terfaktor dengan analisis struktur ( $M_u$ ) menggunakan program bantu SAP 2000.
2. Hitung momen nominal,  $M_n = M_u / \phi$ , dimana  $\phi$  = faktor reduksi kekuatan lentur = 0,80 (**SNI T-12-2004 pasal 4.5.2 halaman 20**)

3. Tahanan momen nominal,

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} \cdot \dots\dots\dots (2-24)$$

Dengan :

b = Lebar pelat yang ditinjau (per 1 meter)

d = Tebal efektif pelat lantai

4. Tahanan momen maksimum,

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \cdot \dots\dots\dots (2-25)$$

Dengan :

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow f'c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008(f'c - 30) \rightarrow f'c > 30 \text{ MPa}$$

**(SNI T-12-2004 persamaan 5.1-1 dan 5.1-2)**

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b \dots\dots\dots(2-26)$$

$$R_{\text{maks}} = \rho_{\text{maks}} \times f_y \times \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \rho_{\text{maks}} \times f_y}{0,85 \times f'c}\right) \dots\dots\dots(2-27)$$

5. Harus dipenuhi  $R_n < R_{\text{maks}}$

6. Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'c}}\right) \dots\dots\dots(2-28)$$

7. Rasio tulangan minimum,

$$\frac{A_s}{bd} > \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2-29)$$

**(SNI T-12-2004 pasal 5.5.3)**

8. Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2-30)$$

9. Jarak antar tulangan,

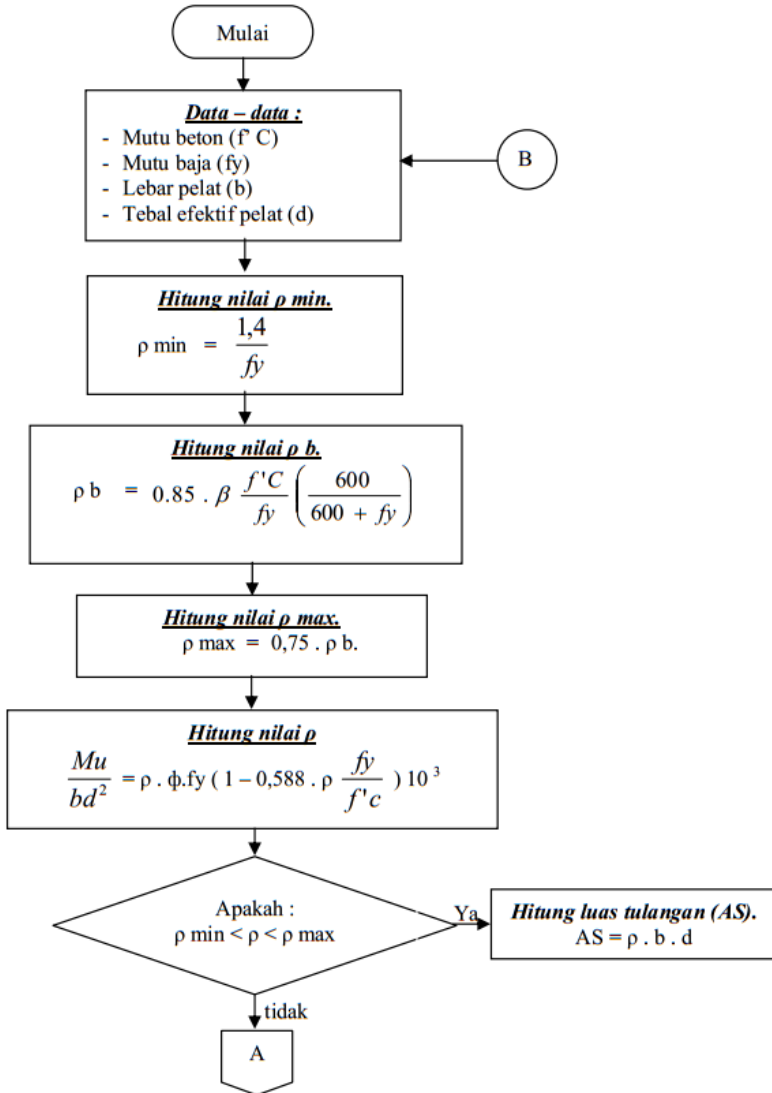
$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi dt^2 \cdot b}{A_s} \dots\dots\dots(2-31)$$

Dengan :

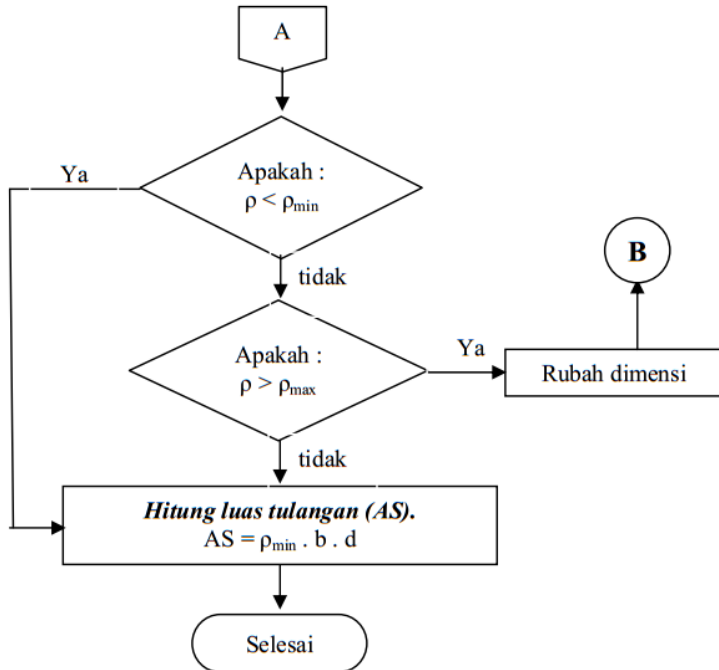
$dt$  = diameter tulangan.

Berikut disajikan diagram alir perhitungan penulangan plat lantai :





Gambar 2.11. Diagram alir perhitungan tulangan plat



Gambar 2.11. Diagram alir perhitungan tulangan plat

### 2.3.2 Kontrol Stabilitas Lendutan Plat

Berdasarkan *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan BMS 1992 pasal 5.3* lendutan untuk plat dan gelagar harus dibatasi sedemikian hingga :

- Lendutan akibat pengaruh tetap (lawan lendut atau lendutan) adalah dalam batas wajar, yaitu :  
 $0 < \Delta < L/300$
- Lendutan pada beban hidup layan, termasuk kejut, yaitu :  
 $\Delta < L/360$   
 Ket :  
 $\Delta$  = Lendutan yang terjadi

### 2.3.3 Penulangan Pada Balok

Penulangan balok dermaga juga dilakukan dengan kondisi sebelum komposit (plat pracetak) maupun pada kondisi sesudah komposit direncanakan dengan tulangan rangkap. Dalam perhitungan penulangan perlu dilakukan kontrol retak dan lendutan (baik lendutan seketika dan jangka panjang) berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992) Vol. 1, pasal 5.4.2 hal 5-94**. Untuk momen, gaya lintang, dan nilai-nilai analisa mekanika lainnya diperoleh dari hasil analisis program bantu SAP 2000.

Penulangan pada balok diperhitungkan terhadap lentur, geser, torsi dan lendutan yang terjadi dengan beban yang sesungguhnya serta kontrol letak pada penampang balok.

- **Penulangan Lentur**

Penulangan lentur balok dilakukan dengan cara yang sama dengan penulangan lentur plat dengan persamaan berikut :

$$M_n = M_u / \phi$$

$$m = f_y / 0.85 \cdot f_c'$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

Rasio tulangan minimum :

$$\rho_{min} = 1.4 / f_y$$

$$\rho_{max} = \frac{0.85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_b = 0.75 \rho_{max}$$

$$A_{st} = \rho \cdot b \cdot d$$

Cek kemampuan nominal :

$$T = A_{st} \cdot f_y$$

$$a = T / (0.85 \cdot f_c' \cdot b)$$

$$\phi M_n = \phi \cdot T \times (d - a/2)$$

Nilai  $\phi M_n$  harus lebih besar dari  $M_u$ .

- **Penulangan Torsi**

Tu dapat diabaikan jika lebih kecil dari :

$$\frac{\phi \sqrt{f_c'}}{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots(2-32)$$

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left( \frac{T_u p_h}{1.7 A_o h^2} \right)^2} \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w d} + \frac{2 \sqrt{f_c'}}{3} \right) \dots\dots\dots(2-33)$$

Tulangan Puntir tambahan untuk menahan geser harus direncanakan dengan menggunakan persamaan :

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{s} \cdot \cot \phi \dots\dots\dots(2-34)$$

Dengan  $\phi T_n \geq T_u$

Tulangan puntir tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir tidak boleh kurang dari pada:

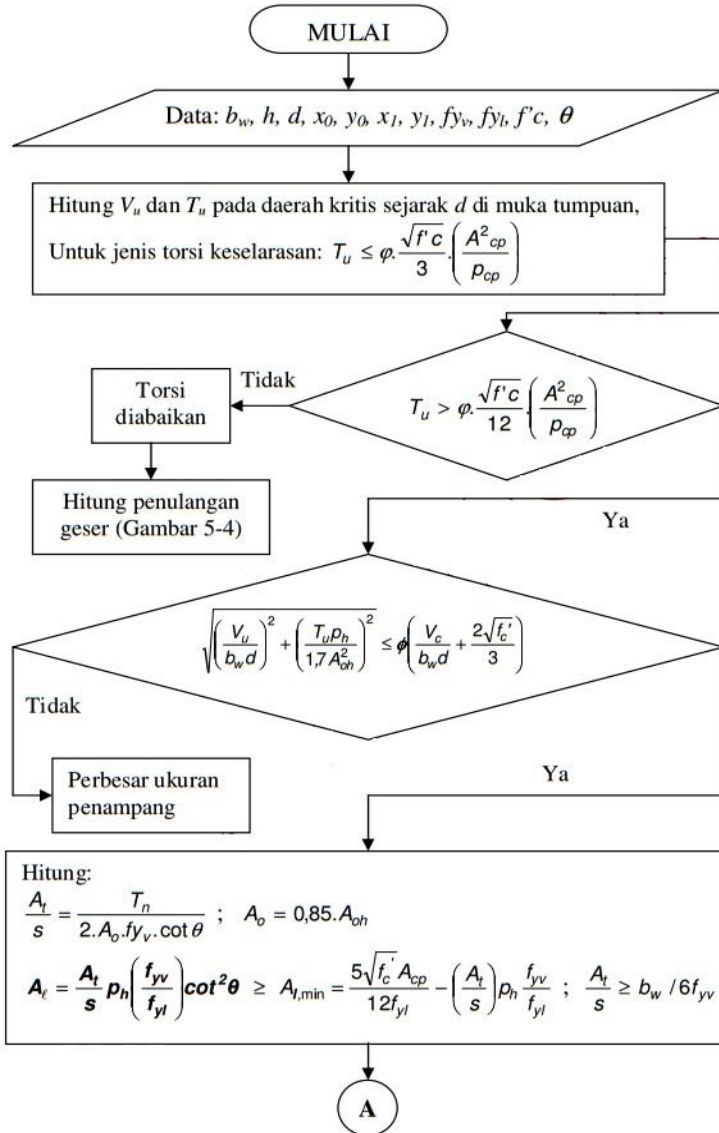
$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \phi \dots\dots\dots(2-35)$$

Sedangkan luas total minimum tulangan puntir longitudinal harus dihitung dengan ketentuan:

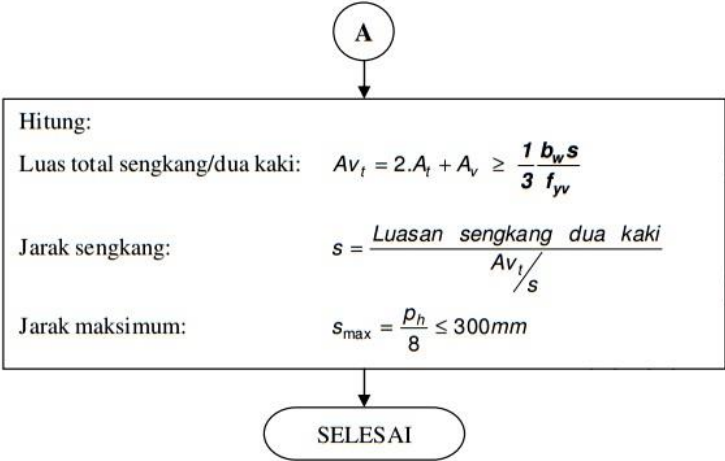
$$A_{l_{min}} = \frac{5 \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{12 f_{yl}} - \left( \frac{A_t}{s} \right) P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

Dengan  $A_t / s$  tidak kurang dari  $b_w / 6 f_y$ .

Luas tulangan tambahan kemudian disebar merata ke 4 sisi balok.



Gambar 2.12. Diagram alir perhitungan tulangan torsi



Gambar 2.12. Diagram alir perhitungan tulangan torsi

• **Penulangan Geser**

Perencanaan terhadap geser didasarkan mengacu pada SNI Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Gedung *SNI 2847-03-2002, pasal 13.*

$\phi Vn \geq Vu$ .....(2-36)

Dan Vn adalah gaya geser terfaktor yang dihitung menurut :

$Vn = Vc + Vs$ .....(2-37)

Sedangkan Vc adalah kuat geser yang disumbangkan oleh beton yang dihitung menurut :

$Vc = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d$ .....(2-38)

Cek kondisi :

Kondisi 1 :

$Vu > \phi Vc$  .....(2-39)

Tulangan geser diperhitungkan

Kondisi2:

$$V_u > 0,5 \phi \cdot V_c \dots\dots\dots (2-40)$$

Tulangan geser minimum diperhitungkan

Perhitungan tulangan geser :

$$V_s = V_n - V_c \dots\dots\dots (2-41)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots\dots\dots (2-42)$$

$$\frac{A_{v_{tot}}}{s} = \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \dots\dots\dots (2-43)$$

Sedangkan nilai  $A_v$  total minimum adalah :

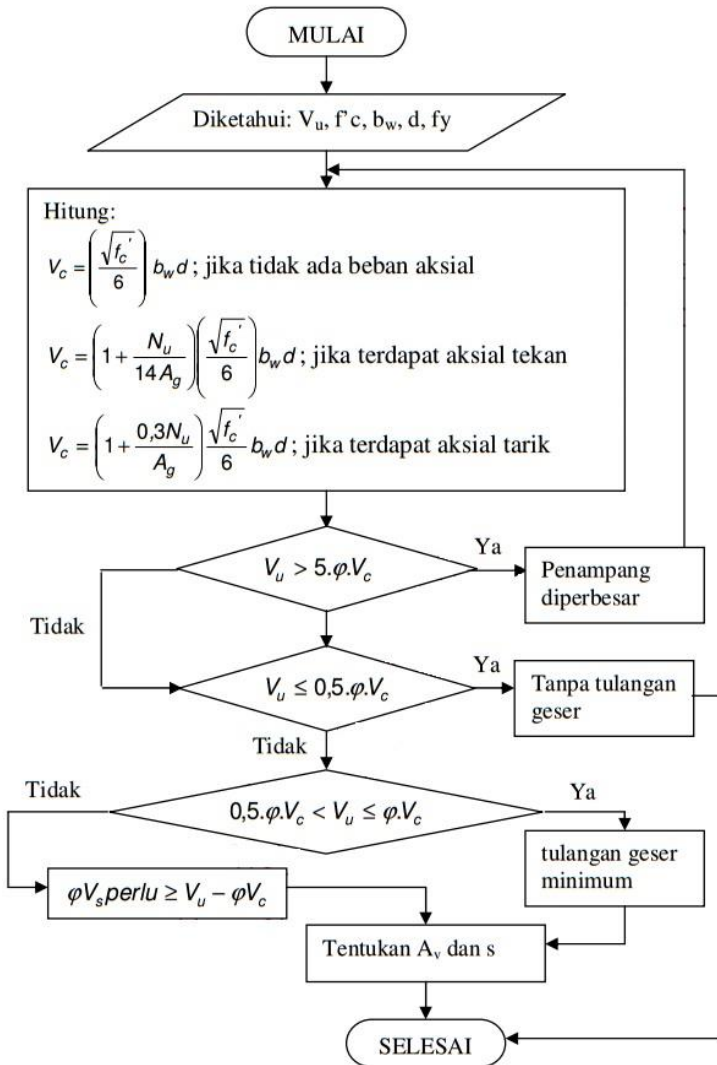
$$A_v + 2 A_t = 75 \cdot \sqrt{f_c'} \frac{b_w \cdot s}{1200 \cdot f_{yv}} \dots\dots\dots (2-44)$$

dan nilai  $A_v + 2 A_t$  tidak boleh kurang dari :

$$\frac{1}{3} b_w \frac{s}{f_{yv}} \dots\dots\dots (2-45)$$

Kontrol spasi :

$$S_{maksimum} = Ph/8 \text{ atau } 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (2-46)$$



Gambar 2.13. Diagram alir perhitungan tulangan geser



### 2.3.4 Kontrol Stabilitas Balok

- Kontrol Retakan Lentur

Retakan gelagar dianggap terkendali pada keadaan layan, oleh pembagian penulangan sedemikian berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992) Vol 1, pasal 5.3.1.a:**

1. Jarak antara pusat-pusat batang tulangan dekat permukaan tarik balok tidak boleh melebihi 200 mm.
2. Jarak dari pinggir atau dasar balok terhadap pusat batang tulangan memanjang terdekattidak boleh melebihi 100 mm.

Untuk maksud di atas, suatu batang tulangan dengan diameter lebih kecil dari setengah diameter batang terbesar dalam penampang melintang harus diabaikan.

- Kontrol Lendutan Balok

Berdasarkan **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992) Vol 1, pasal 5.3.2.a.** , lendutan pada balok (dan pelat) harus dibatasi sedemikian bahwa:

1. Lendutan akibat pengaruh tetap (lawan sudut atau lendutan) adalah dalam batas yang wajar. Batas berikut umumnya diinginkan  $0 < \text{lawan lendutan} < L/300$ .
2. Lendutan pada beban hidup layan, termasuk kejut, tidak boleh melebihi  $L/800$  untuk bentang dan  $L/400$  untuk kantilever.

Selanjutnya, untuk perhitungan lendutan, baik lendutan sesaat maupun jangka panjang, mengacu pada **Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS (1992) Vol 1, pasal 5.3.2 Halaman 5-3.**

### 2.3.5 Penulangan Pilecap

Penulangan pilecap dihitung menggunakan rumus yang sama dengan metode perhitungan tulangan plat.

### 2.3.6 Analisa Daya Dukung Pondasi

#### 1. Pembebanan

Berdasarkan hasil perhitungan struktur utama dengan menggunakan program bantu SAP 2000, maka dapat dihitung gaya-gaya yang bekerja pada tiang pancang tegak dan miring.

#### 2. Data Tanah

Dari hasil penyelidikan tanah SPT (Standard Penetration Test), diperoleh data-data yang diperlukan untuk perhitungan daya dukung tiang pancang.

#### 3. Analisa Kapasitas Tiang Pancang (Pile) Berdasarkan Data SPT

$$P = \frac{A_p \times Q_d}{3} + \frac{A_s \times \sum L_i \times F_i}{3} \dots\dots\dots(2-47)$$

Dengan :

P = Kapasitas pile yang diijinkan

$A_p$  = Luas ujung tiang pancang ( $m^2$ )

$A_s$  = Luas total permukaan tiang pancang

$Q_d$  = Daya dukung tanah maksimum pada ujung pondasi

$F_i$  = Gesekan pada permukaan tiang pada kedalaman i

=  $N/2 \text{ t/m}^2$  untuk tanah lempung,

maksimum  $12 \text{ t/m}^2$

=  $N/5 \text{ t/m}^2$  untuk pasir, maksimum  $10 \text{ t/m}^2$

$L_i$  = Panjang tiang pancang pada kedalaman i

#### 4. Analisa Daya Dukung Akibat Beban Horizontal

Daya dukung horisontal dihitung berdasarkan beban pergeseran normal yang terjadi pada kepala tiang, yaitu pergeseran paling maksimum pada ujung tiang. Bila besarnya pergeseran normal sudah ditetapkan, maka daya dukung mendatar yang diijinkan dapat ditentukan berdasarkan *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, *Suyono S, Kazuto Nakazawa*, dengan persamaan berikut ini :

$$Ha = \frac{4 EI \cdot \beta^3}{1 + \beta h} \cdot \delta_\alpha \quad \dots\dots\dots(2.48)$$

Dengan :

Ha = kapasitas daya dukung horisontal tiang

E = modulus elastisitas bahan

I = momen inersia penampang

$\delta$  = pergeseran normal (diambil 1 cm)

k = koefisien reaksi tanah dasar

= ko.  $y^{-0,5}$  .....(2.49)

ko = 0,2 Eo.  $D^{-3/4}$

(nilai k apabila pergeseran diambil sebesar  
1 cm) .....(2.50)

y = besarnya pergeseran yang dicari

Eo = modulus elastisitas tanah

= 28 N .....(2.51)

h = tinggi tiang yang menonjol di atas  
permukaan tanah

$$\beta = \frac{\frac{1}{4} \sqrt{k \cdot D}}{\sqrt{4 E I}} \quad \dots\dots\dots(2.52)$$

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

Metodologi ini menggambarkan langkah-langkah perencana dalam menjawab rumusan masalah perencanaan. Hasil dari jawaban atas perumusan masalah tersebut akan diuraikan dalam bab selanjutnya. Adapun uraian dari metodologi yang ditunjukkan pada gambar 3.1 adalah sebagai berikut:

#### **3.1. Pengumpulan Data**

Dalam melakukan perencanaan struktur dermaga diperlukan data sebagai berikut:

1. Data Angin
2. Data Gelombang dan Arus
3. Data Pasang Surut
4. Data Bathymetri
5. Data Tanah

#### **3.2 Spesifikasi Kapal**

Sisi Laut

Kapasitas Angkut	: 50.000	DWT
Panjang Total LOA	: 266	meter
Lebar (B)	: 32,3	meter
<i>Loaded Draft</i>	: 13	meter

Sisi Darat

Kapasitas Angkut	: 10.000	DWT
Panjang Total LOA	: 139	meter
Lebar (B)	: 22	meter
<i>Loaded Draft</i>	: 7,9	meter

### 3.3 Spesifikasi Struktur

1. Panjang dermaga : 251 m  
    Panjang Catwalk : 35 m  
    Panjang Mooring Dolphin : 6 m
2. Lebar dermaga : Digunakan lebar 43 m
3. Struktur pondasi menggunakan pondasi tiang pancang pipa baja (*Steel Pipe Pile*).
4. Direncanakan dapat melayani kapal dengan kapasitas muat 50.000 DWT di sisi laut dan 10.000 DWT di sisi darat
5. Kondisi pasang surut :
  - a. Kondisi pasang tertinggi (HWS) : +2,98 m
  - b. Kondisi surut terendah (LWS) : +0.00 m

### 3.4 Analisa Perencanaan Struktur

Analisa perencanaan struktur dermaga meliputi:

#### 1. Perencanaan Dimensi Struktur

Langkah awal dalam perencanaan struktur dermaga adalah merencanakan dimensi struktur. Perencanaan tersebut meliputi:

- a. Perencanaan dimensi apron
- b. Perencanaan tebal pelat dermaga
- c. Perencanaan dimensi balok memanjang
- d. Perencanaan dimensi balok melintang
- e. Perencanaan dimensi pile cap dan tiang pancang.

#### 2. Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur dermaga meliputi beban vertikal dan horizontal serta kombinasi keduanya.

- a. Beban Vertikal
  - Beban mati
  - Beban hidup
- b. Beban Horizontal
  - Beban benturan kapal (berthing force)

- Beban tambatan kapan (mooring force)
  - Beban Gelombang dan Arus
  - Beban gempa
- c. Kombinasi Pembebanan

### **3. Perencanaan Fender**

Fender merupakan bantalan yang berfungsi sebagai penyerap energi benturan antara kapal dan dermaga saat kapal merapat. Perencanaan fender meliputi:

- a. Perhitungan energi benturan kapal, yang didasarkan pada kapal terbesar yang merapat di dermaga.
- b. Perhitungan energi yang dapat diserap oleh dermaga.
- c. Pemilihan tipe dan ukuran fender.
- d. Penempatan fender.

### **4. Perencanaan Boulder**

Boulder atau alat penambat merupakan alat yang berfungsi mengikat kapal pada saat berlabuh agar tidak terjadi pergeseran atau gerakan pada kapal yang disebabkan oleh gelombang, arus dan angin.

- a. Perhitungan gaya yang diterima boulder.
- b. Perencanaan dimensi boulder

### **5. Analisa Struktur**

Analisa struktur dermaga menggunakan program SAP 2000 untuk mendapatkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur dermaga yang direncanakan.

### **6. Kontrol Stabilitas dan Kekuatan**

Kontrol stabilitas diperlukan untuk menjamin perilaku struktur yang memadai pada kondisi beban kerja. Kontrol meliputi kontrol terhadap retak dan lendutan.

## **7. Penulangan**

Penulangan dilakukan pada struktur beton yang terdapat pada konstruksi dermaga seperti penulangan pelat, balok memanjang, balok melintang, balok anak, dan pile cap.

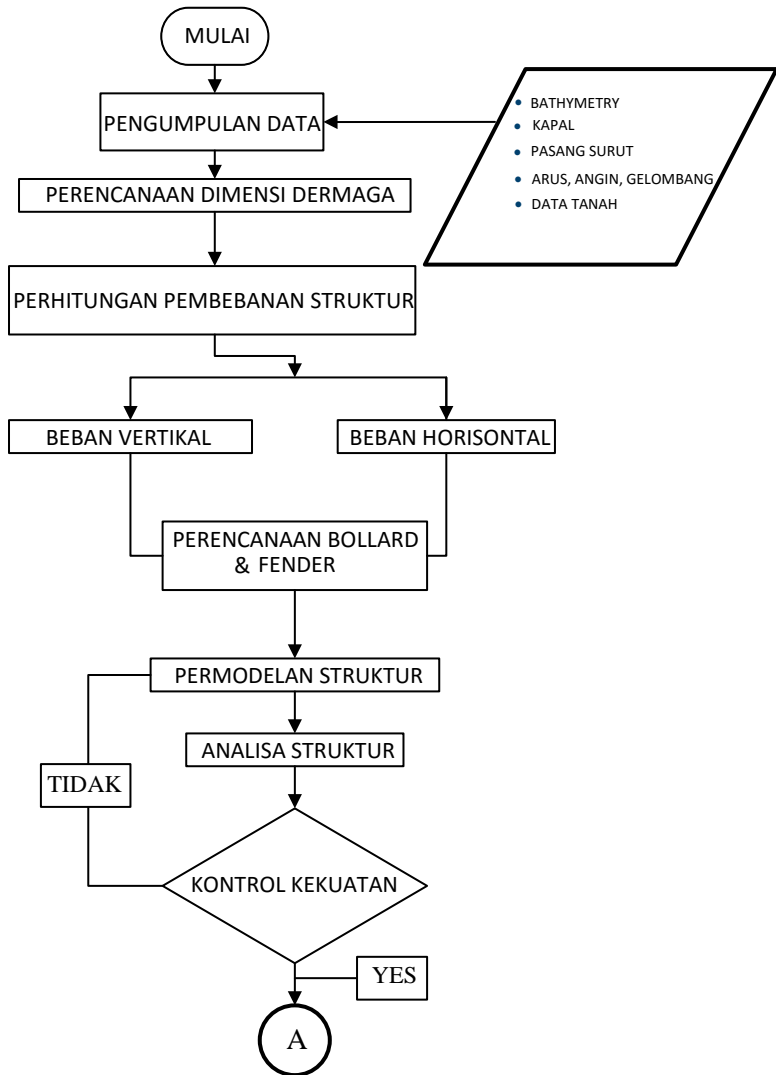
## **3.5 Penggambaran Struktur**

Setelah perhitungan struktur selesai, maka dilakukan penggambaran struktur menggunakan program Autocad.

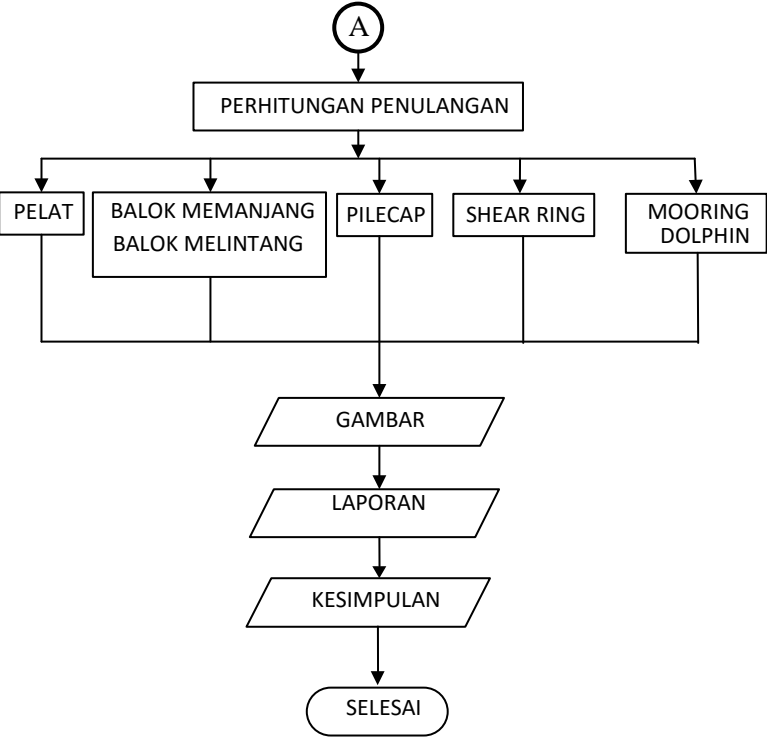
## **3.6 Penulisan Laporan**

Tugas Akhir merupakan bentuk karya ilmiah, maka dalam pembuatannya diperlukan laporan yang penulisannya disusun secara sistematis dan terperinci

### 3.7. Bagan Metodologi







Gambar 3.1. Bagan Metodologi Perencanaan

## **BAB IV**

### **KRITERIA DESAIN**

#### **4.1. Peraturan Yang Digunakan**

Dalam melakukan perencanaan struktur dermaga digunakan beberapa peraturan sebagai berikut :

1. Standart Design Criteria for Port in Indonesia, 1984.
2. SNI 2847-2002 Beton Bertulang
3. SNI 03 - 2833 - 2013, Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Jembatan.
4. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour facilities in Japan.

#### **4.2. Kriteria Kapal Rencana**

Struktur dermaga ini direncanakan akan ditambahi oleh kapal mengangkut peti kemas dengan bobot maksimum 50.000 DWT di sisi laut dan 10.000 DWT di sisi darat. Dengan data spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.1 Spesifikasi Kapal Rencana Sisi Laut

Spesifikasi	Kapal 50.000 DWT
Dead Weight Tonnage (DWT)	50.000 ton
Length Overall (Loa)	266 m
Beam (B)	32,3 m
Loaded Draft (D)	13 m

Tabel 4. 2 Spesifikasi Kapal Rencana Sisi Laut

Spesifikasi	Kapal 10.000 DWT
Dead Weight Tonnage (DWT)	10.000 ton
Length Overall (Loa)	139 m
Beam (B)	22 m
Loaded Draft (D)	7,9 m

Berdasarkan tabel 5.1. *Standard Design Criteria for Port in Indonesia, 1984* (Hal. 10) mengenai kecepatan bertambat kapal, kapal dengan data di atas diperkirakan berlabuh dengan kecepatan 0.15 m/dtk, dengan asumsi kondisi berlabuh dalam keadaan standar (*moderate berthing velocity*).

### 4.3. Material

Material yang digunakan dalam perancangan ditetapkan sebagai berikut :

#### 4.3.1. Beton

Beton yang digunakan merupakan beton bertulang biasa, dalam hal ini mengacu pada SNI 2847-2000. Baton  $f'_c = 35$  MPa pada umur 28 hari

#### 4.3.2. Baja Tulangan

Mutu baja tulangan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tulangan $\emptyset < 12$ mm ; U24	$f_y =$	240 MPa
	$E_a =$	210000 MPa
	$\sigma_a =$	140 MPa
Tulangan $D \geq 13$ mm ; U39	$f_y =$	390 MPa
	$E_a =$	210000 MPa
	$\sigma_a =$	225 MPa

### 4.3.3. Tiang Pondasi

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang pipa baja (Steel Pipe Pile) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tiang pancang baja ASTM A 252 / JIS A 5525 :

Tabel 4.3 Spesifikasi Tiang Pancang

Spesifikasi	Mooring Dolphin, Catwalk	Jetty
Kekuatan	BJ 55	BJ 55
Teg. Putus Min (fu)	550 MPa	550 MPa
Teg. Leleh Min (fy)	410 MPa	410 MPa
Young Modulus (E)	200.000 MPa	200.000 MPa
Modulus Geser (G)	80.000 MPa	80.000 MPa
Nisbah Poisson ( $\mu$ )	0.3	0.3
Koef. Pemuaian ( $\alpha$ )	$12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$	$12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tiang pancang baja (Steel Pipe Pile) yang digunakan dalam perancangan dermaga, catwalk, mooring dolphin adalah tiang pancang dengan diameter 1422,4 mm ,1016 mm, 508 mm dengan ketebalan ( $t=22$  mm), ( $t=16$  mm), ( $t=14$  mm), sesuai dengan brosur yg tersedia

## 4.4. Penetapan Tata Letak dan Dimensi

Adapun tata letak dan dimensi struktur dermaga sebagai berikut :

### 4.4.1. Penetapan Tata Letak

#### 1. Dermaga

Berdasarkan *Standard design Criteria for Port in Indonesia, 1984*, penentuan awal dimensi dermaga dihitung dengan rumus  $Loa + 10\%Loa$  atau  $Loa + 10$  m. Sehingga diperoleh :

Panjang Dermaga mengikuti ukuran terbesar yaitu untuk kapal rencana sisi laut =  $266 \text{ m} + 10 \text{ m} = 276 \text{ m}$  atau dengan juga menggunakan pertimbangan  $266 \text{ m} + 26,6 \text{ m} = 292,6 \text{ m}$ .

Mempertimbangkan adanya fasilitas mooring dolphin dan catwalk dengan panjang 41 m dan pertimbangan jarak tata letak tiang pancang, maka diambil panjang dermaga total = 251 m dan mempertimbangkan panjang tiang miring, sisi darat diambil 248 m

Demikian pula dengan lebarnya, lebar dermaga ditentukan dengan memperhitungkan jarak tepi, kebutuhan maneuver *trailer*, *span rail crane* lebar, maka direncanakan lebar dermaga total 47,15 m dengan adanya deletasi 15 cm antara keduanya (sisi laut dan sisi darat)



## 2. Elevasi Apron Dermaga

Berdasarkan ketentuan pada penentuan elevasi apron dengan kedalaman air rencana 4,5 m atau lebih besar, pasang surut lebih dari 3 m adalah 0,5 – 1,5 m diatas HWS.

$$\begin{aligned} \text{Elevasi Apron} &= \text{HWS} + (1,0 - 3,0 \text{ m}) \\ &= +2,98 + 2 \text{ m} \\ &= +4,98 \text{ mLWS} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk kedalaman perairan rencana sisi laut, sesuai dengan ketentuan :

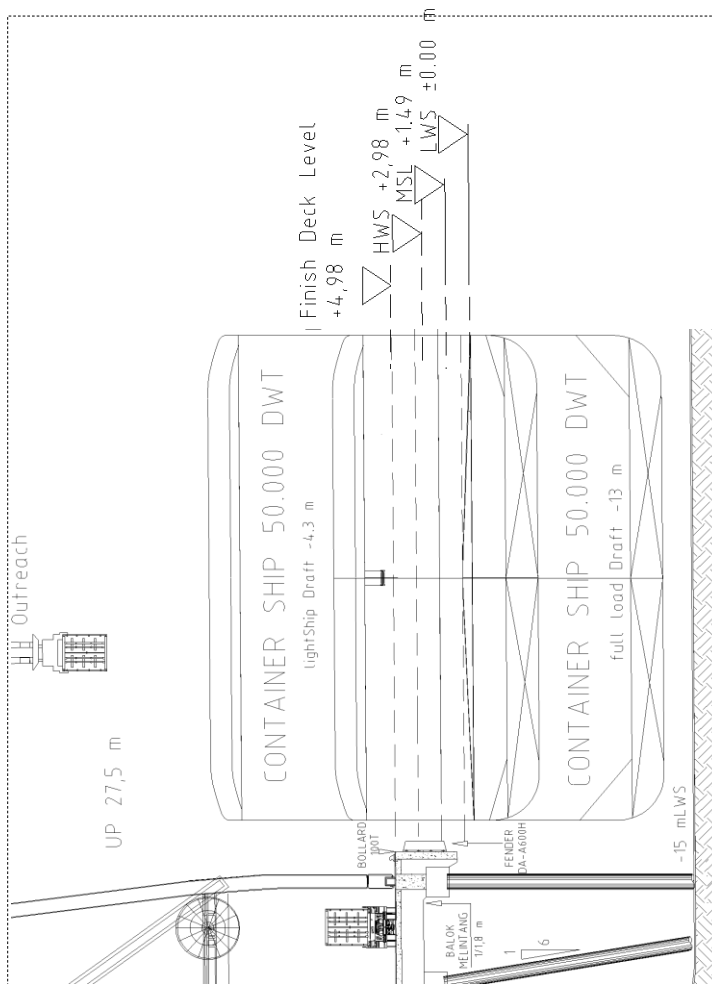
$$\begin{aligned} &= (1.05 \sim 1.15) \times \text{sarat maksimum} \\ &= (1.05 \sim 1.15) \times 13 \text{ m} \\ &= (13.65 \sim 14.95) \text{ m} \end{aligned}$$

Maka direncanakan kedalaman kolam perairan 15 m. (kondisi existing 14 m)

Sedangkan untuk kedalaman perairan rencana sisi darat, sesuai dengan ketentuan:

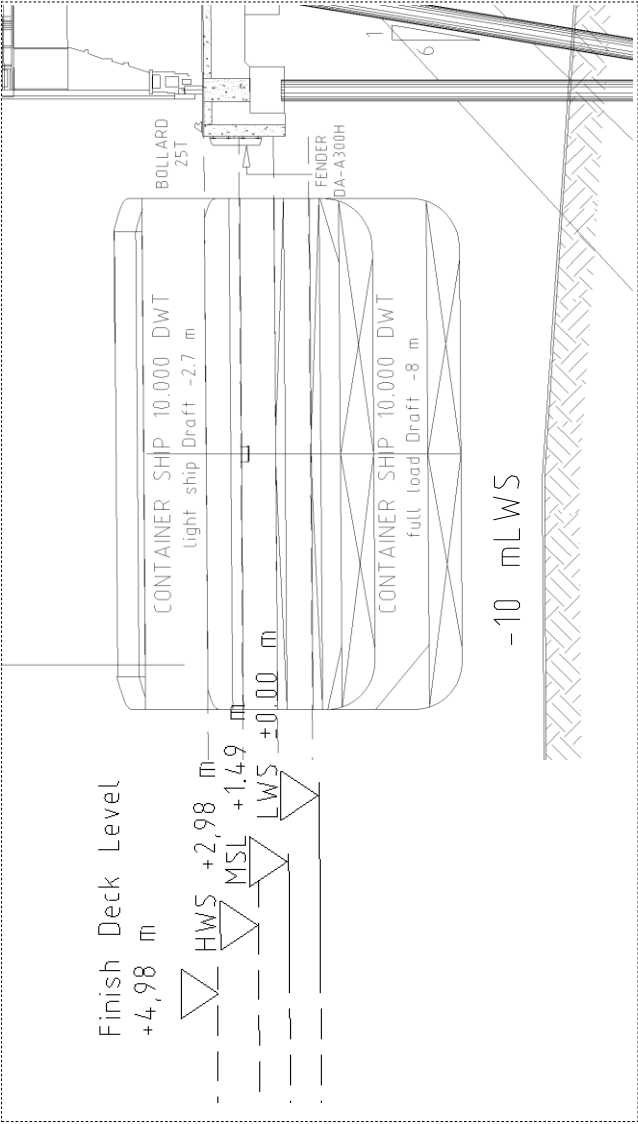
$$\begin{aligned} &= (1.05 \sim 1.15) \times \text{sarat maksimum} \\ &= (1.05 \sim 1.15) \times 8 \text{ m} \\ &= (8.4 \sim 9.2) \text{ m} \end{aligned}$$

Maka direncanakan kedalaman kolam perairan 10 m (kondisi existing 10 m)

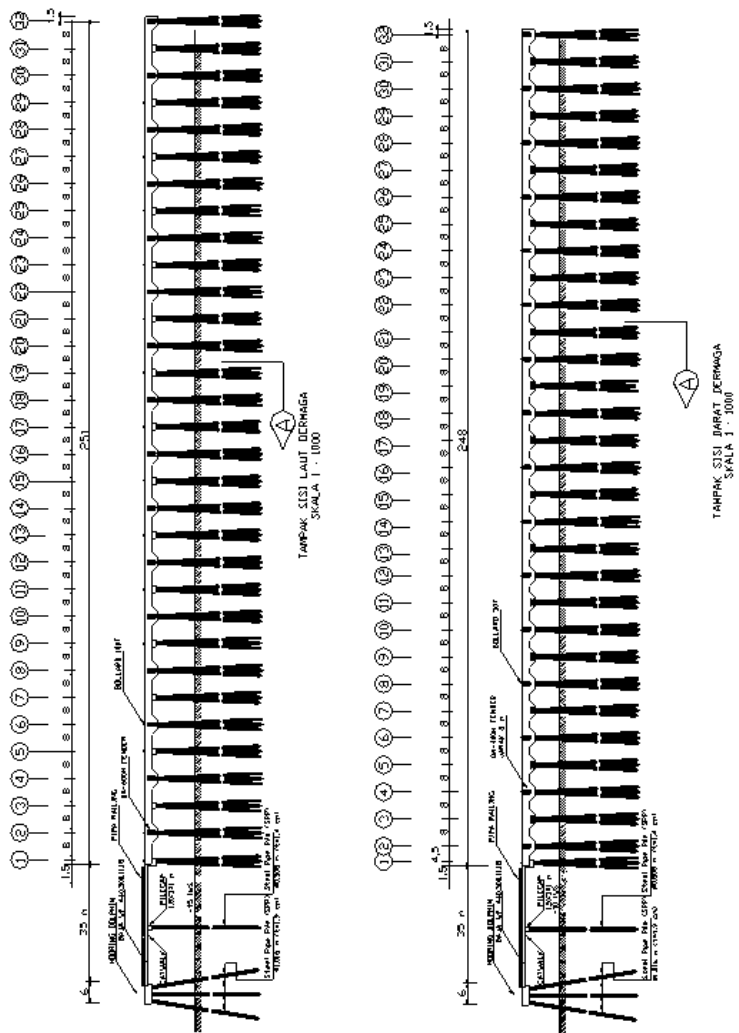


Gambar 4.2. Posisi Dermaga sisi laut terhadap Kapal

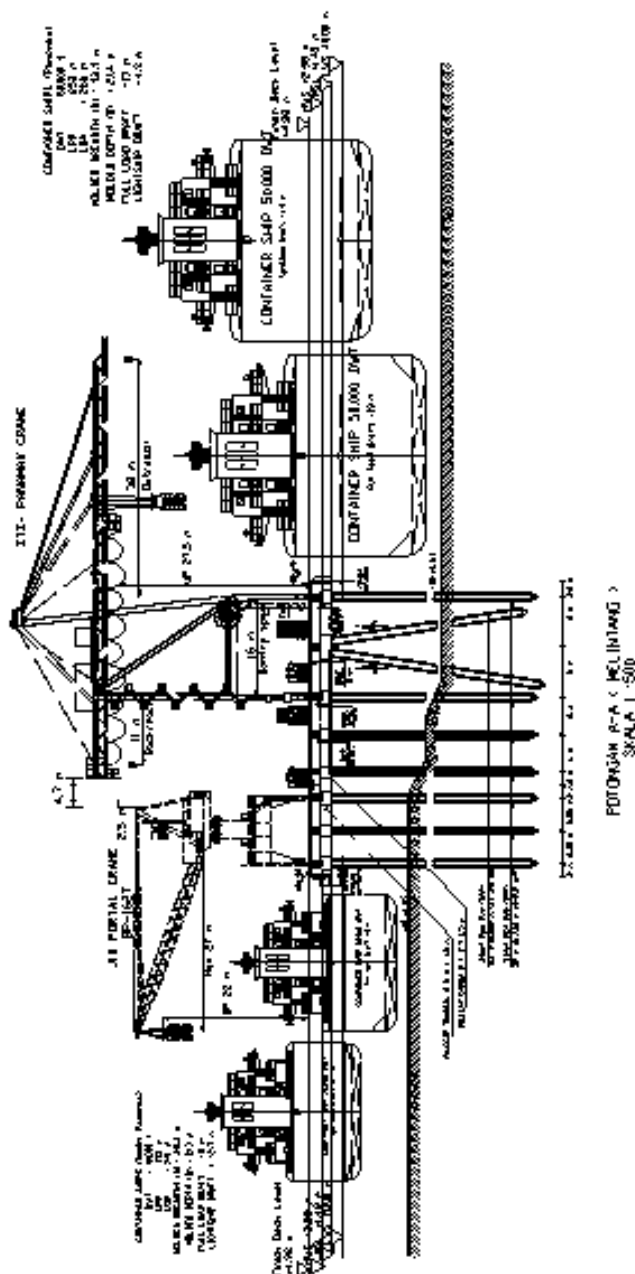




Gambar 4.3. Posisi Dermaga sisi darat terhadap Kapal



Gambar 4.4. Tampak Depan Sisi laut Dermaga



### Gambar 4.5. Tampak Sampling Dermaga

## 4.4.2. Penetapan Dimensi

### 4.4.2.1. Tebal Plat Dermaga dan Mooring Dolphin

#### 1. Tebal Plat Dermaga

Pelat lantai pada dermaga berdasarkan ketentuan pada persamaan 2-1 dan 2-2 harus mempunyai tebal minimum (D) yang memenuhi kedua ketentuan berikut:

$$D \geq 200 \text{ mm}$$

$$D \geq 100 + 0,04L \text{ mm}$$

$$D \geq 100 + 0,04(4000) \text{ mm}$$

$$D \geq 260 \text{ mm}$$

Dengan mempertimbangkan beban yang bekerja diatas plat (seperti crane, *truk trailer*), maka direncanakan tebal plat dermaga = 350 mm = 35 cm

#### 2. Tebal Mooring Dolphin

Direncanakan plat tebal Mooring = 1750 mm

### 4.4.2.2. Dimensi Balok Dermaga

#### 1. Dimensi Balok Dermaga

Balok Memanjang (L= 8m)(L=6)

$$D \geq 165 + 0.06L$$

$$D \geq 165 + 0.06 [(8000),(6000)]$$

$$D \geq [(693),(561)]$$

$$B \geq 2/3D$$

$$B \geq 2/3 [(693),(561)] \geq [(462),(374)] \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan balok 80/180 cm.

Kontrol Kelangsingan:

$$L/b_{ef} \leq 240 b_{ef}/D$$

$$8000/800 \leq 240 \times (800/1800)$$

$$6000/800 \leq 240 \times (800/1800)$$

$$[(10),(7,5)] \leq 106 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Atau,

$$L/b_{ef} = [(8000),(6000)]/800 = [(10),(7,5)] \leq 60 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Balok Melintang(L=8m, L=6m, L=5,25m)

$$D \geq 165 + 0.06L$$

$$D \geq 165 + 0.06 [(8000), (6000), (5250)]$$

$$D \geq [(693), (561), (511,5)]$$

$$B \geq 2/3D [(693), (561), (511,5)]$$

$$B \geq [(462), (374), (341)] \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan balok

800/1800 mm

Kontrol Kelangsingan:

$$L/b_{ef} \leq 240 b_{ef}/D$$

$$[(8000), (6000), (5250)]/800 \leq 240 \times (800/1800)$$

$$[(10), (7,5), (6,5)] \leq 106 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Balok Listplank (L= 4m)(L=3m)

$$D \geq 165 + 0.06L$$

$$D \geq 165 + 0.06 [(4000), (3000)]$$

$$D \geq [(429), (363)]$$

$$B \geq 2/3D$$

$$B \geq 2/3 [(429), (363)] \geq [(286), (242)] \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan balok 30/350 cm.

Kontrol Kelangsingan:

$$L/b_{ef} \leq 240 b_{ef}/D$$

$$4000/300 \leq 240 \times (300/3500)$$

$$3000/300 \leq 240 \times (300/3500)$$

$$[(13,3), (10)] \leq 20,5 \rightarrow \mathbf{OK}$$

$$10 \leq 20,5 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Atau,

$$L/b_{ef} = [(4000), (3000)]/300 = [(13,3), (10)] \leq 60 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Balok Anak(L=8m, L=6m, L=5,25m)

$$D \geq 165 + 0.06L$$

$$D \geq 165 + 0.06 [(8000), (6000), (5250)]$$

$$D \geq [(693), (561), (511,5)]$$

$$B \geq 2/3D [(693), (561), (511,5)]$$

$$B \geq [(462), (374), (341)] \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan balok

500/800 mm

Kontrol Kelangsingan:

$$L/b_{ef} \leq 240 b_{ef}/D$$

$$[(8000), (6000), (5250)]/500 \leq 240 \times (800/1800)$$

$$[(16), (12), (10,5)] \leq 150 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Balok Tepi Memanjang (L= 4m)(L=3)

$$D \geq 165 + 0.06L$$

$$D \geq 165 + 0.06 [(4000), (3000)]$$

$$D \geq [(429), (363)]$$

$$B \geq 2/3D$$

$$B \geq 2/3 [(429), (363)] \geq [(286), (242)] \text{ mm}$$

Direncanakan menggunakan balok 50/80 cm.

Kontrol Kelangsingan:

$$L/b_{ef} \leq 240 b_{ef}/D$$

$$4000/500 \leq 240 \times (800/1800)$$

$$3000/500 \leq 240 \times (800/1800)$$

$$[(8), (6)] \leq 106 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Atau,

$$L/b_{ef} = [(4000), (3000)]/800 = [(10), (7,5)] \leq 60 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Tabel 4.4. Resume Balok Dermaga

No	Tipe Balok	Dimensi		Lokasi
		h (cm)	b (cm)	
1	B1. Balok Crane	200	100	Dermaga
2	B3. Balok Melintang	180	80	Dermaga
3	B2. Balok Memanjang	180	80	Dermaga
4	B6. Balok anak	80	50	Dermaga
5	B5. Balok Liplank	350	30	Dermaga
6	B4. Balok Tepi	80	50	Dermaga

#### 4.4.2.3 Tiang Pancang Baja

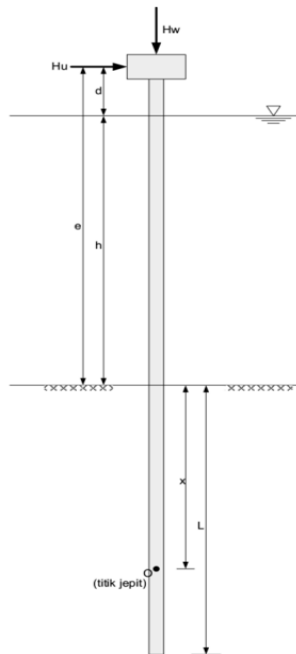
##### 1. Diameter Tiang Pancang

Data dimensi tiang pancang yang akan digunakan pada perencanaan dermaga, mooring dan catwalk ialah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Data Tiang Pancang Dermaga

Spesifikasi	Jetty	Mooring Dolphin	Catwalk
Diameter	1422,4 mm	1016 mm	508 mm
Tebal	22 mm	19 mm	14 mm
Luas Penampang	967,9 cm <sup>2</sup>	595,1 cm <sup>2</sup>	217,3 cm <sup>2</sup>
Berat	759,75 kg/m	467,13 kg/m	170,55 kg/m
Momen Inersia	237x10 <sup>4</sup> cm <sup>4</sup>	740 x10 <sup>3</sup> cm <sup>4</sup>	663 x10 <sup>2</sup> cm <sup>4</sup>

## 2. Panjang Penjepitan



Gambar 4.6. Sketsa Kedalaman Minimum Tiang Pancang

Perhitungan letak titik jepit tanah terhadap tiang pancang baja (steel pipe pile) struktur dermaga, struktur catwalk, struktur mooring dolphin adalah tiang pancang dengan diameter 1422,4 mm , 1016 mm, 508 mm dengan ketebalan ( $t=22$  mm), ( $t=19$  mm), ( $t=14$  mm), terhadap tanah adalah sebagai berikut:



Tabel 4.6. Panjang Penjepitan Tiang Crane Dermaga  
Ø1422,4 mm Tebal 22 mm

Parameter			Unit	Ø 14224 mm
Diameter luar		D1	cm	142,24
Diameter dalam		D2	cm	137,84
Tebal		t	cm	2,2
Luas Penampang		A	cm <sup>2</sup>	967,40
Berat		W	kg/cm	6,495
Momen Inersia		I	cm <sup>4</sup>	2372061
Modulus Elastisitas Baja		E	kg/cm <sup>2</sup>	2100000
Jarak As pile cap ke LWS		d	m	1,75
Kedalaman Perairan		h	m	15
h + d		e	m	16,75
Panjang total tiang			m	55
Panjang tiang tertanam		L	m	39
N			blow/feet	4
kh = 0.15*N			kg/cm <sup>3</sup>	0,6
$1 / ((kh \cdot D / (4EI))^{0.25})$		x	m	6,951
Pnjng titik jepit dr dasar		L - x	m	32,049
Tinggi Struktur			m	<b>22,951</b>

Tabel 4.7. Panjang Penjepitan Tiang Catwalk  
Ø508 mm Tebal 14 mm

Parameter			Unit	Ø 508 mm
Diameter luar		D1	cm	50,8
Diameter dalam		D2	cm	48
Tebal		t	cm	1,4
Luas Penampang		A	cm <sup>2</sup>	217,16
Berat		W	kg/cm	5,623
Momen Inersia		I	cm <sup>4</sup>	66298
Modulus Elastisitas Baja		E	kg/cm <sup>2</sup>	2100000
Jarak As pile cap ke LWS		d	m	1,75
Kedalaman Perairan		h	m	15
h + d		e	m	16,75
Panjang total tiang			m	55
Panjang tiang tertanam		L	m	38,75
N			blow/feet	4
kh = 0.15*N			kg/cm <sup>3</sup>	0,6
$1 / ((kh \cdot D / (4EI))^{0.25})$		x	m	3,677
Pnjng titik jepit dr dasar		L - x	m	35,073
Tinggi Struktur			m	<b>19,927</b>

Tabel 4.8. Panjang Penjepitan Tiang Mooring Dolphin  
Ø1016 mm Tebal 19 mm

Parameter			Unit	Ø 1016 mm
Diameter luar		D1	cm	101,6
Diameter dalam		D2	cm	97,8
Tebal		t	cm	1,9
Luas Penampang		A	cm <sup>2</sup>	594,81
Berat		W	kg/cm	5,623
Momen Inersia		I	cm <sup>4</sup>	739327
Modulus Elastisitas Baja		E	kg/cm <sup>2</sup>	2100000
Jarak As pile cap ke LWS		d	m	1,75
Kedalaman Perairan		h	m	15
h + d		e	m	16,75
Panjang total tiang			m	55
Panjang tiang tertanam		L	m	39,125
N			blow/feet	4
kh = 0.15*N			kg/cm <sup>3</sup>	0,6
$1 / ((kh \cdot D / (4EI))^{0.25})$	x		m	5,650
Pnjng titik jepit dr dasar	L - x		m	33,475
Tinggi Struktur			m	21,525

### 3. Kontrol Tekuk Tiang

Untuk memperhitungkan pengaruh tekuk baik selama pemancangan maupun saat memikul beban permanen, digunakan persamaan berikut :

$$L/D \leq 60 - 70$$

Tiang Ø1422 mm t 22 mm (Dermaga)

$$\frac{L_{tekuk}}{D} \leq 60 - 70$$

$$\frac{28,44}{1,422} \leq 60$$

$$20 < 60 \rightarrow \text{OK}$$

Tiang Ø508 mm t 14 mm (Catwalk)

$$\frac{L_{tekuk}}{D} \leq 60 - 70$$

$$\frac{24,512}{0,508} \leq 60$$

$$48,25 < 60 \rightarrow \text{OK}$$

Tiang Ø1016 mm t 19 mm (Mooring Dolphin)

$$\frac{L \text{ tekuk}}{D} \leq 60 - 70$$

$$\frac{26,88}{1,016} \leq 60$$

$$26,189 < 60 \rightarrow \text{OK}$$

#### 4. Pengaruh Korosi Tiang Pancang

Dalam pemasangan tiang pancang diperhitungkan pengaruh korosi terhadap usia rencana dermaga ( $\pm 50$  tahun). Sesuai dengan *Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan* (1980), *Tabel 2.11.hal 80* ketebalan tiang yang terkena air laut (laju korosi = 0,1 mm/th) bertambah :

$$\pm (0,1 \text{ mm/th} \times 50 \text{ th}) = \pm 5 \text{ mm}$$

Untuk mempertahankan ketebalan tiang dari pengaruh korosi, maka tiang diberikan perlindungan dengan menggunakan *coating* dan metode perlindungan katode, sehingga memperpanjang jangka waktu layan tiang. Adapun *coating* yang digunakan menggunakan *coating* dari Agatha Paint. Ketebalan *coating* yang digunakan menyesuaikan dengan jangka waktu layan yaitu 50 tahun, sehingga digunakan *coating* dengan ketebalan 500 micron (0,5 mm).

Sedangkan untuk perlindungan tambahan, maka tiang diberikan perlindungan terhadap korosi dengan metode lindungan katode, yaitu dengan mengalirkan arus listrik ke tiang sehingga mencegah reaksi kimia yang menyebabkan korosi pada tiang pancang.

#### 4.4.2.4 Dimensi Pilecap

Dimensi poer berdasarkan ukuran tiang pancang dan jumlah tiang terpasang disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.9 Dimensi Pilecap Dermaga

Type	Dimensi	Jumlah Tiang	Ket
A	2000 x 2000 x 1500	1	T. Tegak
B	4000 x 2000 x 2000	2	T. Miring

Tabel 4.10 Dimensi Pilecap Catwalk

Type	Dimensi	Jumlah Tiang	Ket
A	3000 x 1500 x 1000	2	T. Tegak

### 4.5 Pembebanan

#### 4.5.1. Beban Vertikal

##### 1. Beban Mati

Berat sendiri pelat, balok, dan pilecap akan dihitung sendiri secara otomatis di program SAP 2000 v14.2.4, jadi beban mati yang dimasukkan adalah beban mati tambahan, diantaranya :

Berat sendiri fender (sisi laut) = 1,113 t

Berat sendiri fender (sisi Darat) = 0.315 t

##### 2. Beban Hidup Merata

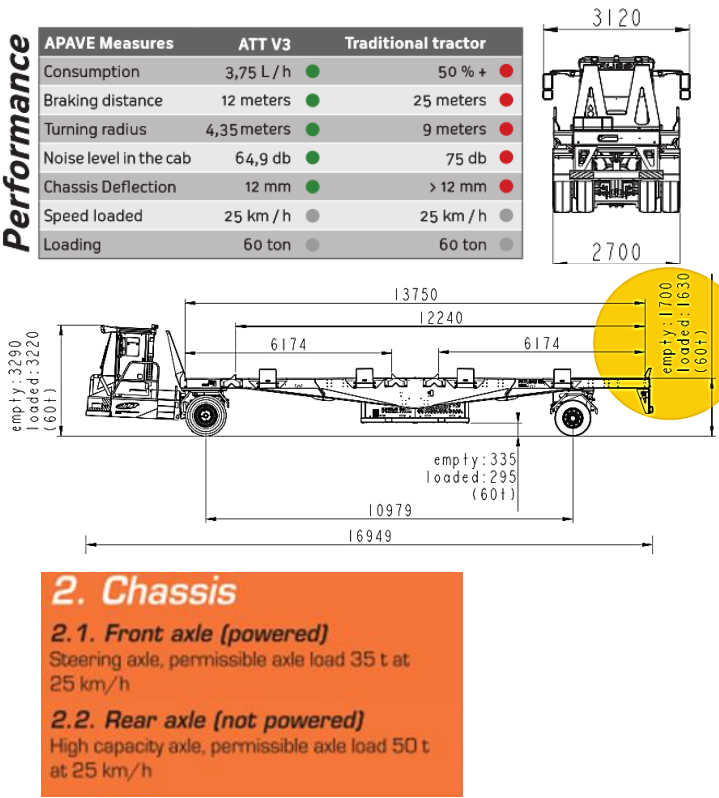
- a. UDL = 2 t/m<sup>2</sup>  
(Soedjono Kramadibrata, 2002 : 233)
- b. Beban hujan =  $0.05 \times 1 \text{ t/m}^3 = 0.05 \text{ t/m}^2$

3. Beban Terpusat

Merupakan beban titik yang bekerja di dermaga akibat tekanan dari peralatan bongkar muat yang digunakan. Peralatan yang digunakan dan pembebanannya adalah sebagai berikut :

A. Truk khusus (Trailer)

Untuk mengangkut boks peti kemas dari dermaga ke lapangan penumpukan digunakan truk trailer (ATT) dengan kapasitas beban ijin mencapai 50 t & 35 t :



Gambar 4.7. ATT (Automotive Trailer Tractor)

#### 4. Beban Crane

Untuk mengangkat, memindahkan boks peti kemas dari kapal ke trailer atau sebaliknya baik yang berada di sisi laut maupun disisi darat, maka digunakan crane tipe STS (*ship to shore*) yang sesuai dengan kapal kapasitas 50.000 DWT dan pada sisi darat dengan menggunakan alat tipe JIB Portal Crane sesuai kapal 10.000 DWT yang mekanisme kerjanya, alat ini akan bergerak menumpu pada balok crane yang dihubungkan dengan rel khusus untuk pergerakan roda cranenya dengan data teknis sebagai berikut :

##### A. Crane STS (*Ship to Shore*)

Penggunaan alat ini di bagian sisi laut dermaga yang melayani kapal container 50.000 dwt :

Out Reach	: 38.0 m
Back Reach	: 11.0 m
Lifting Height	
Sisi Laut Atas	: 27,5 m
Sisi Laut Bawah	: 13 m
Lebar Max Crane	: 27,6 m
Jarak Kaki Sisi Darat	: 17.0 m
JarakKaki Sisi Laut	: 17.0 m
Tinggi Crane	
Boom Direndahkan	: 57.0 m
Boom di Tinggikan	: 78.0 m
Jarak Roda	
Setelah dimodifikasi	: 16 m
Berat Sendiri Crane	: 600 ton
Jumlah Roda Bergerak	: 16 Roda
Beban Roda Maksimum	
Sisi Laut	: 34 ton
Sisi Darat	: 28 ton

## B. Crane JIB Portal Crane (*Ship to Shore*)

Tabel 4.11 Data Teknis Jib Portal Crane

NO.	TYPE	CAPACITY	LUFFING		HOIST HEIGHT		SPAN× BASE (m)	MAX WHEEL LOAD (KN)	Capability (KW)	SHIP (DWT)
			MAX	MIN	UP	DOWN				
1	BP209	2	9	4	6	6	4.5 × 4.5	40	22	200
2	BP315	3.2	15	56	12	8	6 x 6	80	42	500-2500
3	BP322	3.2	22	7	14	8	6 × 6	90	58	1000-3000
4	BP515	5	15	6	12	9	6 x 6	120	120	500-1500
8	BP525	5	15	56	12	8	6 x 6	80	42	5000
9	BP1020	(hook)10	20	7	15	10	10.5 × 10.5	115	103	5000
		(grab)5								
10	BP2020	20	20	7	16	10	10.5 x 10.5	165	145	3000
11	BP1025	(hook)10	25	8	20	12	10.5 × 10.5	185	132.8	5000
		(grab)5								
12	BP-1625	(hook)16	25	8	20	12	10.5 × 10.5	185	305	5000
		(grab)10								
13	BP-1627	(hook)16	27	10	22	15	10.5 × 10.5	185	305	10000
		(grab)10								
14	BP-1030	(hook)10	30	11	25	15	10.5 × 10.5	275	305	15000

Dengan asumsi yang disesuaikan dengan beban roda maksimum untuk crane STS, maka beban roda sisi darat adalah 5/6 dari beban roda sisi laut maka :

### Beban Roda Maksimum

Sisi Laut : 18,5 ton

Sisi Darat : 15,4 ton

## 4.5.2. Beban Horizontal

### 1. Beban Tumbukan Kapal Sisi Laut

Kapal merapat dengan sudut,  $\theta = 10^\circ$

(Triadmodjo, Hal 217)

Kecepatan bertambat kapal,  $v = 0.15 \text{ m/s}$

(Tabel 5.1. Standart Design Criteria for Port in Indonesia 1984)

Energi tumbukan dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_f = (W \cdot v^2 / 2g) \cdot C_m \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

Dimana :

Bobot Kapal maksimum = 50.000 DWT

$W = 69900 \text{ ton (weight of vessel)}$

$Loa = 266 \text{ m}$

$B = 32,3 \text{ m (lebar kapal)}$

$d = 13 \text{ m (draft kapal)}$

$\rho = 1.025 \text{ t/m}^3 \text{ (massa jenis air laut)}$

$L_{pp} = 0.852 \times Lo^{1.0201} = 252 \text{ m}$

$C_b = \text{koefisien blok kapal}$

$$= W / (L_{pp} \cdot B \cdot d \cdot \rho) = 0,6445$$

$C_m = \text{koefisien massa}$

$$= 1 + (\pi \cdot d) / (2 \cdot C_b \cdot B) = 1,0045$$

$l = 1/4 Lo = 66,5 \text{ m}$

$r = \text{diambil } 0.25Lo = 66,5 \text{ m}$

$C_E = \text{koefisien eksentrisitas}$

$$= 1 / (1 + (l/r)^2) = 0.5$$

$C_C = \text{koefisien bentuk}$

$= 1 \text{ (untuk jetty)}$

$C_S = \text{koefisien kekerasan}$

$= 1 \text{ (untuk kapal baja)}$

Sehingga,

$$\begin{aligned} E_f &= (69900 \times 0.15^2 / (2 \times 9.81)) \times 1,0045 \times 0.5 \\ &\quad \times 1 \times 1 \\ &= 40,26 \text{ tm} \end{aligned}$$



### Pemilihan Jenis Fender

Dengan  $E_f$  maks = **40,26 tm**

maka perencanaan fender dipilih dengan menggunakan Dyna Arch Fender Type A (DA-A600H), dimana :

Energi Fender (E) = 40,8 tm

$E > E_f$  maks = 40,3 tm **OK**

Reaksi = 161,8 ton

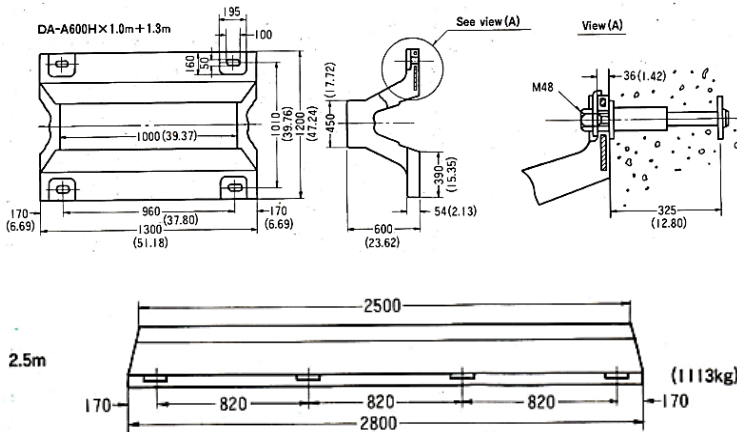
(reaksi = gaya horizontal yang diteruskan ke struktur)

Berat Fender = 1,113 ton

Panjang Fender = 2.5 m

Defleksi = 52.5 %

Reaksi akibat gesekan fender ketika ditabrak kapal yang akan merapat berkisar 10% dari reaksi yang diteruskan fender ke struktur.



Gambar 4.8. Dyna Arch Fender Tipe A

### Pemasangan Fender

Jarak pemasangan fender ditinjau dari arah vertical dan horizontal. Berikut ini adalah perhitungan jarak fender.

#### 1. Arah Vertikal

Pemasangan fender pada arah ini berdasarkan pada ukuran kapal rencana yang akan bersandar pada dermaga, fluktuasi air laut, dan elevasi dermaga.

#### 2. Arah Horizontal

Syarat penentuan jarak pemasangan fender arah horizontal (L) ialah berdasarkan kedalaman perairan dan radius “bow” dari kapal, dan dipastikan tidak ada badan kapal yang menyentuh dermaga.

Jarak horizontal maksimum antara fender juga ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$L = 2 \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

Dimana:

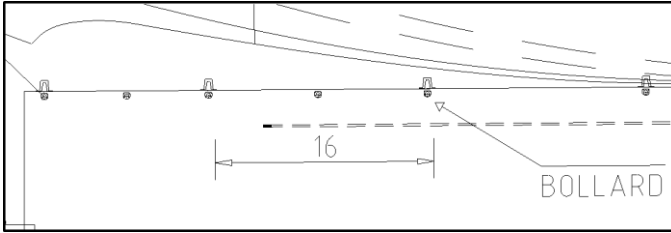
$$\begin{aligned} r &= \text{radius tekukan dari buritan kapal} \\ &= 0.25 \times \text{Loa} (266) = 66,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$h = \text{tinggi efektif fender} = 0.6 \text{ m}$$

Maka, jarak maksimum antar fender adalah:

$$\begin{aligned} L &= 2 \sqrt{66,50^2 - (66,50 - 0.6)^2} \\ &= 17,826 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan jarak antar fender sebesar 16 m (menyesuaikan jarak portal).



Gambar 4.9. Pemasangan Fender Arah Horizontal

## 2. Beban Tumbukan Kapal Sisi Darat

Kapal merapat dengan sudut,  $\theta = 10^\circ$

(Triadmodjo, Hal 217)

Kecepatan bertambat kapal,  $v = 0.15 \text{ m/s}$

(Tabel 5.1. Standart Design Criteria for Port in Indonesia 1984)

Energi tumbukan dapat dihitung dengan persamaan :

$$E_f = (W \cdot v^2 / 2g) \cdot C_m \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S$$

Dimana :

Bobot Kapal maksimum = 10.000 DWT

$W = 15100 \text{ ton (weight of vessel)}$

$Loa = 139 \text{ m}$

$B = 22 \text{ m (lebar kapal)}$

$d = 7,9 \text{ m (draft kapal)}$

$\rho = 1.025 \text{ t/m}^3 \text{ (massa jenis air laut)}$

$L_{pp} = 0.852 \times Lo^{1.0201} = 132 \text{ m}$

$C_b$  = koefisien blok kapal

$$= W / (L_{pp} \cdot B \cdot d \cdot \rho) = 0,6421$$

$C_m$  = koefisien massa

$$= 1 + (\pi \cdot d) / (2 \cdot C_b \cdot B) = 1,0663$$

$l = 1/4 Lo = 34,75 \text{ m}$

$r = \text{diambil } 0.25Lo = 34,75 \text{ m}$

$C_E$  = koefisien eksentrisitas

$$= 1 / (1 + (l/r)^2) = 0.5$$

$C_C$  = koefisien bentuk = 1 (untuk jetty)

$C_S$  = koefisien kekerasan = 1 (untuk kapal baja)

Sehingga,

**Ef**

$$= (15100 \times 0.15^2 / (2 \times 9.81)) \times 1,0663$$

$$\times 0.5 \times 1 \times 1$$

$$= \mathbf{9,23 \text{ tm}}$$

### Pemilihan Jenis Fender

Dengan Ef maks = **9,23 tm**

maka perencanaan fender dipilih dengan menggunakan Dyna Arch Fender Type A (DA-A300H), dimana :

Energi Fender (E) = 10,3 tm

E > Ef maks = 9,23 tm **OK**

Reaksi = 81 ton

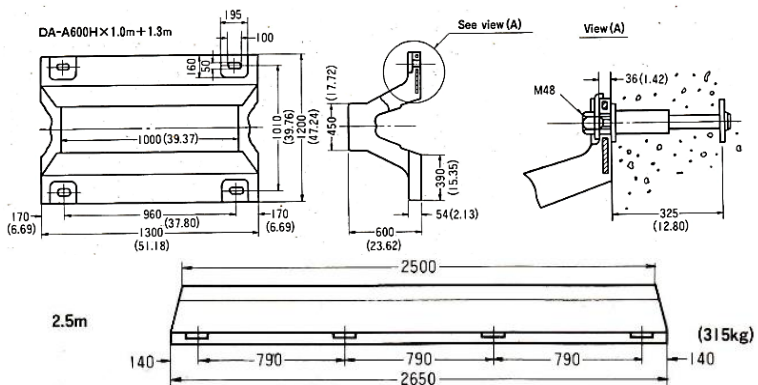
(reaksi = gaya horizontal yang diteruskan ke struktur)

Berat Fender = 0,35 ton

Panjang Fender = 2.5 m

Defleksi = 52.5 %

Reaksi akibat gesekan fender ketika ditabrak kapal yang akan merapat berkisar 10% dari reaksi yang diteruskan fender ke struktur.



Gambar 4.10 Dyna Arch Fender Tipe A

### Pemasangan Fender

Jarak pemasangan fender ditinjau dari arah vertical dan horizontal. Berikut ini adalah perhitungan jarak fender.

#### 1. Arah Vertikal

Pemasangan fender pada arah ini berdasarkan pada ukuran kapal rencana yang akan bersandar pada dermaga, fluktuasi air laut, dan elevasi dermaga.

#### 2. Arah Horizontal

Syarat penentuan jarak pemasangan fender arah horizontal (L) ialah berdasarkan kedalaman perairan dan radius “bow” dari kapal, dan dipastikan tidak ada badan kapal yang menyentuh dermaga.

Jarak horizontal maksimum antara fender juga ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$L = 2 \sqrt{r^2 - (r - h)^2}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} r &= \text{radius tekukan dari buritan kapal} \\ &= 0.25 \times \text{Loa} (139) = 34,75 \text{ m} \end{aligned}$$

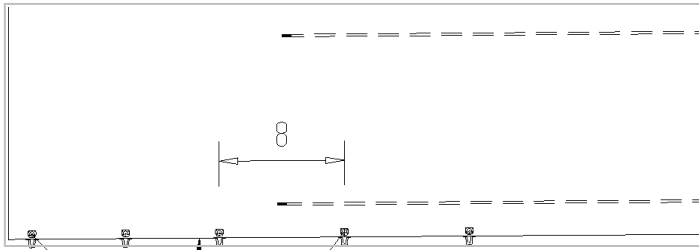
$$h = \text{tinggi efektif fender} = 0.3 \text{ m}$$

Maka, jarak maksimum antar fender adalah:

$$\begin{aligned} L &= 2 \sqrt{34,75^2 - (34,75 - 0.3)^2} \\ &= 9,1126 \text{ m} \end{aligned}$$

Digunakan jarak antar fender sebesar 8 m (menyesuaikan jarak portal).

Karena perhitungan/simulasi kapal pada saat kondisi LWS bidang sentuh yang kurang, maka ditambahkan fender dengan pemasangan horizontal



Gambar 4.11. Pemasangan Fender Arah horizontal

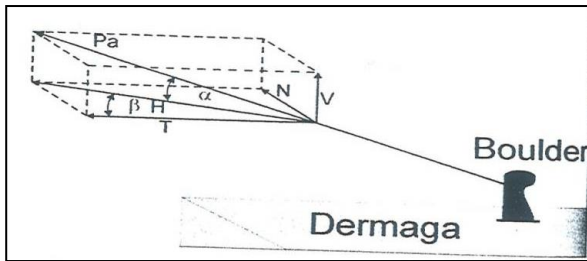
### 3. Beban Tarikan Kapal

Beban tarikan kapal disebabkan oleh gaya tarik kapal karna bobot kapal atau karna angin dan arus. Gaya yang terbesar akan diambil sebagai gaya horizontal dermaga dan juga digunakan dalam perencanaan bollard

- **Gaya Tarikan Kapal**

Kapal terbesar yang direncanakan merapat pada dermaga Teluk Lamong ini disesain dua sisi sandar, sisi laut adalah 50.000 DWT dan 10.000 DWT pada sisi darat. Berdasarkan *Standart Design Criteria for Port in Japan* 1991, boulder yang harus disediakan agar mampu melayani kapal tersebut adalah bollard dengan kekuatan 100 ton (sisi laut) dan 30 ton (sisi darat).

Agar diperoleh gaya-gaya dalam kondisi kritis, maka diambil sudut yang terjadi untuk  $\alpha$  dan  $\beta$  sebesar  $45^\circ$ . Besarnya komponen-komponen gaya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.12. Gaya yang Bekerja Pada Bollard/Boulder

**(sisi laut)**

$$\begin{aligned}
 V &= Pa \sin \alpha &= 100 \sin 45^\circ &= 70,7 \text{ ton} \\
 H &= Pa \cos \alpha &= 100 \cos 45^\circ &= 70,7 \text{ ton} \\
 T &= H \cos \beta &= 70,7 \cos 45^\circ &= 49,9 \text{ ton} \\
 N &= H \sin \beta &= 70,7 \sin 45^\circ &= 49,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

**(sisi darat)**

$$\begin{aligned}
 V &= Pa \sin \alpha &= 30 \sin 45^\circ &= 21,21 \text{ ton} \\
 H &= Pa \cos \alpha &= 30 \cos 45^\circ &= 21,21 \text{ ton} \\
 T &= H \cos \beta &= 21,21 \cos 45^\circ &= 14,9 \text{ ton} \\
 N &= H \sin \beta &= 21,21 \sin 45^\circ &= 14,9 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

V : Nilai V digunakan untuk menghitung agar boulder tidak sampai tercabut.

T : Nilai T digunakan untuk menghitung besarnya momen yang bekerja.

N : Nilai N digunakan untuk menghitung besarnya tarikan pada boulder.

H : Nilai H digunakan untuk menghitung besarnya tarikan pada boulder.

Dari komponen-komponen gaya tersebut, dipilih nilai  $H = 70,7$  ton (sisi laut) dan  $H = 21,21$  ton (sisi darat) untuk perencanaan boulder. Gaya tersebut harus dibandingkan dengan gaya tarik kapal akibat tekanan arus dan angin, kemudian dipilih yang terbesar untuk perencanaan boulder. Berikut ini perhitungan gaya tarikan kapal akibat arus dan angin.

(sisi laut)

- **Gaya Tarik Akibat Arus**

Dalam menghitung tekanan arus digunakan persamaan berikut :

$$P_c = C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot V_c^2 / 2g$$

Dimana :

$P_c$  = tekanan arus pada kapal yang bertambat (ton)

$\gamma_c$  = berat jenis air laut =  $1.025 \text{ t/m}^3$

$A_c$  = luas kapal di bawah muka air ( $\text{m}^2$ )

Dihitung pada dua kondisi, kapal penuh dan kapal kosong.

$V_c$  = kecepatan arus =  $0,7717 \text{ m/s}$  (kondisi ekstrim)

$C_c$  = koefisien arus = 1

$g$  =  $9,81 \text{ m/s}^2$

**Kondisi Kapal Penuh**

$D$  = Tinggi kapal – Draft =  $21,4 - 13 = 8,4 \text{ m}$

$A_c$  =  $\text{Loa} \times D = 266 \times 8,4 = 2234,4 \text{ m}^2$

$P_c = 1 \times 1.025 \text{ t/m}^3 \times 2234,4 \text{ m}^2 \times 0,77^2 \text{ m/s} / (2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)$   
**= 69,52 ton**

**Kondisi Kapal Kosong**

$D$  = Tinggi kapal –  $1/3$ Draft  
 $= 21,4 - 1/3 \times 13 = 17 \text{ m}$

$A_c$  =  $\text{Loa} \times D = 266 \times 17 = 4539,7 \text{ m}^2$

$P_c = 1 \times 1.025 \text{ t/m}^3 \times 4539,7 \text{ m}^2 \times 0,77^2 \text{ m/s} / (2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)$   
**= 141,24 ton**



Sehingga diperoleh gaya tarik terbesar akibat arus adalah : 141,24 ton. Gaya tersebut disebabkan oleh arus dengan arah sejajar sumbu memanjang kapal, maka gaya tersebut akan ditahan oleh 2 boulder, sehingga gaya akibat arus adalah **70,62 ton**.

- **Gaya Tarik Akibat Angin**

Dalam menghitung tekanan angin digunakan persamaan berikut :

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_w \cdot V_w^2 (A_w \cos^2 \theta + B_w \sin^2 \theta)$$

(Standart Design Criteria for Port in Indonesia 1984, Hal 11)

Dimana :

$P_w$  = tekanan angin pada kapal yang bertambat

$C_w$  = koef. tekanan angin = 1.135

(tegak lurus sumbu memanjang kapal)

$A_w$  = luasan proyeksi arah memanjang diatas air ( $m^2$ )

$B_w$  = luasan arah muka kapal di atas air ( $m^2$ )

$\theta$  = sudut arah datang angin terhadap sumbu  
memanjang kapal =  $90^\circ$

$V_w$  = 33 m/s (pada kondisi ekstrim)

$\rho_w$  = *air density* = 0.123 kg.sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Kondisi Kapal Penuh**

$$A_w = (H - D) \times B = (21,4 - 13) \times 32,3 = 271,31 \text{ m}^2$$

$$B_w = (H - D) \times L_{oa} = (21,4 - 13) \times 266 = 2234,4 \text{ m}^2$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 0.123 \times 1.135 \times 33^2 \times (271,31 \cos^2 90^\circ + 2234,4 \sin^2 90^\circ) = \mathbf{172,95 \text{ ton}}$$

**Kondisi Kapal Kosong**

$$A_w = (H - 1/3D) \times B = (21,4 - 4,3) \times 32,3 = 551 \text{ m}^2$$

$$B_w = (H - 1/3D) \times L_{oa} \\ = (21,4 - 4,3) \times 266 = 4539,7 \text{ m}^2$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 0.123 \times 1.135 \times 33^2 \times (551 \cos^2 90^\circ + 4539,7 \sin^2 90^\circ) \\ = \mathbf{351,39 \text{ ton}}$$

Sehingga diperoleh gaya tarik terbesar akibat angin adalah : 351,39 ton. Gaya tersebut disebabkan oleh angin dengan arah tegak lurus sumbu memanjang kapal, maka gaya tersebut akan ditahan oleh 4 boulder, sehingga gaya akibat angin adalah **87,85 ton**.

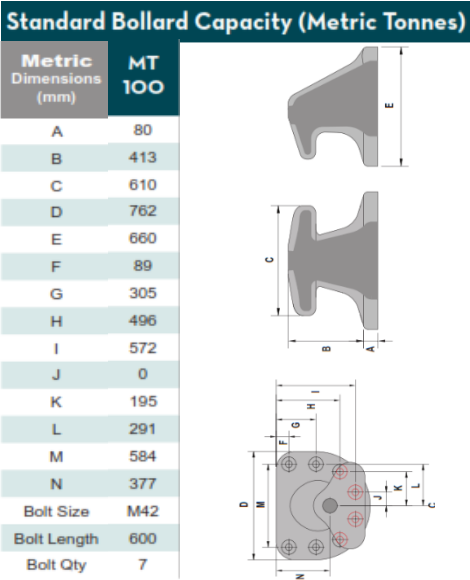
Tabel 4.12 Gaya Tambat Kapal 50.000 DWT

Kapal	Gaya Boulder	Gaya Arus	Gaya Angin
50.000 DWT	70,7 ton	70,62 ton	87,85 ton

Kesimpulan :

Gaya terbesar yang terjadi adalah akibat angin. Maka tarik boulder yang digunakan : 87,85 ton.

Berdasarkan perhitungan diatas maka digunakan angkur sesuai dengan spesifikasi dari *Maritime International MT- 100*



Gambar 4.13. Data Bollard yang dipakai Sisi Laut

- **Penempatan Bollard**

Berdasarkan ketentuan *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984) tabel 7.5. hal 33.*

Gross Tonnage of Ship	Max. Spacing of Bollard (m)	Min. Number of Intalation per Perth
20.001 – 50.000	35	8

Letak Bollard dipilih pada portal dimana dipasang tiang pancang miring pada dermaga. Sesuai dengan ketentuan tersebut maka dipasang bollard 8 buah pada Jetty.

Tabel 4.13 Perhitungan resultan gaya (*sap2000*)

Gaya	Kondisi Penuh (ton)	Kondisi Kosong (ton)
y	84,445	78,957
z	23,276	34,612
x	48,001	44,882

(sisi darat)

- **Gaya Tarik Akibat Arus**

Dalam menghitung tekanan arus digunakan persamaan berikut :

$$P_c = C_c \cdot \gamma_c \cdot A_c \cdot V_c^2 / 2g$$

Dimana :

$P_c$  = tekanan arus pada kapal yang bertambat (ton)

$\gamma_c$  = berat jenis air laut = 1.025 t/m<sup>3</sup>

$A_c$  = luas kapal di bawah muka air (m<sup>2</sup>) Dihitung pada dua kondisi, kapal penuh dan kapal kosong.

$V_c$  = kecepatan arus = 0.77 m/s (kondisi ekstrim)

$C_c$  = koefisien arus = 1

$g$  = 9.81 m/s<sup>2</sup>

**Kondisi Kapal Penuh**

$$D = \text{Tinggi kapal} - \text{Draft} = 11,3 - 7,9 = 3,4 \text{ m}$$

$$Ac = \text{Loa} \times D = 139 \times 3,4 = 472,6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Pc &= 1 \times 1.025 \text{ t/m}^3 \times 472,6 \text{ m}^2 \times 0,77^2 \text{ m/s} / \\ &\quad (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2) \\ &= \mathbf{14,70 \text{ ton}} \end{aligned}$$

**Kondisi Kapal Kosong**

$$D = \text{Tinggi kapal} - 1/3 \text{Draft}$$

$$= 11,3 - 1/3 \times 7,9 = 8,6 \text{ m}$$

$$Ac = \text{Loa} \times D = 139 \times 8,6 = 1204,6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Pc &= 1 \times 1.025 \text{ t/m}^3 \times 1204,6 \text{ m}^2 \times 0,77^2 \text{ m/s} / \\ &\quad (2 \times 9.81 \text{ m/s}^2) \\ &= \mathbf{37,48 \text{ ton}} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh gaya tarik terbesar akibat arus adalah : 37,48 ton. Gaya tersebut disebabkan oleh arus dengan arah sejajar sumbu memanjang kapal, maka gaya tersebut akan ditahan oleh 2 boulder, sehingga gaya akibat arus adalah **18,74 ton**.

- **Gaya Tarik Akibat Angin**

Dalam menghitung tekanan angin digunakan persamaan berikut :

$$Pw = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cw \cdot Vw^2 (Aw \cos^2 \theta + Bw^2 \sin^2 \theta)$$

(Standart Design Criteria for Port in Indonesia 1984, Hal 11)

Dimana :

$Pw$  = tekanan angin pada kapal yang bertambat

$Cw$  = koef. tekanan angin = 1.135

(tegak lurus sumbu memanjang kapal)

$Aw$  = luasan proyeksi arah memanjang di atas air ( $\text{m}^2$ )

$Bw$  = luasan arah muka kapal di atas air ( $\text{m}^2$ )

$\theta$  = sudut arah datang angin terhadap sumbu memanjang kapal =  $90^\circ$

$Vw$  = 33 m/s (pada kondisi ekstrim)

$\rho_w$  = *air density* = 0.123 kg.sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>

**Kondisi Kapal Penuh**

$$Aw = (H - D) \times B = (11,3 - 7,9) \times 22 = 74,8 \text{ m}^2$$

$$Bw = (H - D) \times LoA = (11,3 - 7,9) \times 139 = 472,6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Pw &= \frac{1}{2} \times 0.123 \times 1.135 \times 33^2 \times (74,8 \cos^2 90^\circ \\ &+ 472,6 \sin^2 90^\circ) \\ &= \mathbf{36,58 \text{ ton}} \end{aligned}$$

**Kondisi Kapal Kosong**

$$Aw = (H - 1/3D) \times B = (11,3 - 2,6) \times 22 = 190 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Bw &= (H - 1/3D) \times LoA \\ &= (21,4 - 4,3) \times 139 = 1204 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pw &= \frac{1}{2} \times 0.123 \times 1.135 \times 33^2 \times (190 \cos^2 90^\circ \\ &+ 1204 \sin^2 90^\circ) \\ &= \mathbf{93,25 \text{ ton}} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh gaya tarik terbesar akibat angin adalah : 93,25 ton. Gaya tersebut disebabkan oleh angin dengan arah tegak lurus sumbu memanjang kapal, maka gaya tersebut akan ditahan oleh 4 boulder, sehingga gaya akibat angin adalah **23,31 ton**.

Tabel 4.14 Gaya Tambat Kapal 10.000 DWT

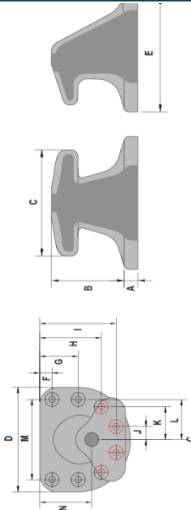
Kapal	Gaya Boulder	Gaya Arus	Gaya Angin
10.000 DWT	21,21 ton	18,74 ton	23,31 ton

**Kesimpulan :**

Gaya terbesar yang terjadi adalah akibat angin. Maka tarik boulder yang digunakan : 23,31 ton.

Berdasarkan perhitungan diatas maka digunakan angkur sesuai dengan spesifikasi dari *Maritime International MT- 30*

Standard Bollard Capacity (Metric Tonnes)	
Metric Dimensions (mm)	MT 30
A	57
B	250
C	366
D	457
E	396
F	53
G	-
H	242
I	343
J	0
K	159
L	-
M	351
N	226
Bolt Size	M30
Bolt Length	450
Bolt Qty	5



Gambar 4.14. Data Bollard yang Dipakai Sisi Darat

- **Penempatan Bollard**

Berdasarkan ketentuan *Standart Design Criteria for Ports in Indonesia (1984) tabel 7.5. hal 33*. Seperti yang tertera pada BAB II.

Gross Tonnage of Ship	Max. Spacing of Bollard (m)	Min. Number of Intalation per Perth
5.001 – 20.000	25	6

Letak Bollard dipilih pada portal dimana dipasang tiang pancang miring pada dermaga. Sesuai dengan ketentuan tersebut maka dipasang bollard 6 buah pada Jetty.

Tabel 4.15. Perhitungan resultan gaya (sap2000)

Gaya	Kondisi Penuh (ton)	Kondisi Kosong (ton)
y	22,52	44,88
z	6,03	2,84
x	9,37	8,34

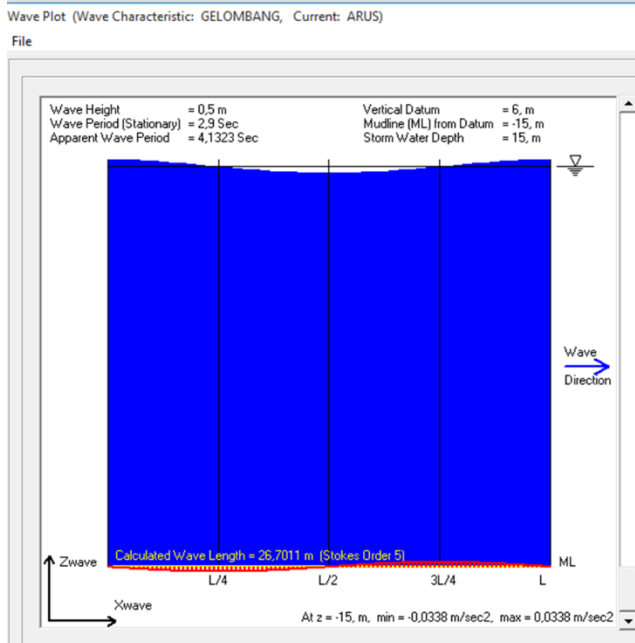
#### 4. Beban Gelombang dan Arus

Beban gelombang dan arus pada struktur yang diperhitungkan hanyalah beban yang bekerja terhadap tiang pancang dengan model yang telah diinputkan pada model sap2000 adalah beban yang didasarkan API WSD2000,

Tinggi Gelombang : 0,5 m

Periode : 2,9 Detik

Arus (Kondisi Ekstrim) : 0,7717 m/detik



Gambar 4.15. Model gelombang dan arus APIWSD2000

## 5. Beban Gempa

Beban gempa yang bekerja pada struktur dermaga dihitung secara dinamis dengan menggunakan respon spektrum menurut SNI 2833-2013.

### - Kelas Situs

Klasifikasi situs ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Berikut disajikan data tanah proyek pembangunan dermaga Teluk Lamong.

Tabel 4.16 Data Tanah

Depth (m)	Th (m)	N-SPT	N Th / NSPT	$\Sigma N$	$N = 30 / \Sigma N$
1	0	0	0	1,2279	24,43
1,5	0,5	4	0,1250		
2	0,5	8	0,0625		
2,5	0,5	12	0,0417		
3	0,5	12,25	0,0408		
3,5	0,5	12,5	0,0400		
4	0,5	12,75	0,0392		
4,5	0,5	13	0,0385		
5	0,5	18,5	0,0270		
5,5	0,5	24	0,0208		
6	0,5	29,5	0,0169		
6,5	0,5	35	0,0143		
7	0,5	37,25	0,0134		
7,5	0,5	39,5	0,0127		
8	0,5	41,75	0,0120		
8,5	0,5	44	0,0114		
9	0,5	45,5	0,0110		
9,5	0,5	47	0,0106		
10	0,5	48,5	0,0103		
10,5	0,5	50	0,0100		
11	0,5	50	0,0100		
11,5	0,5	50	0,0100		
12	0,5	50	0,0100		
12,5	0,5	50	0,0100		
13	0,5	50	0,0100		
13,5	0,5	50	0,0100		
14	0,5	50	0,0100		
14,5	0,5	50	0,0100		
15	0,5	43,25	0,0116		
15,5	0,5	36,5	0,0137		
16	0,5	29,75	0,0168		



16,5	0,5	23	0,0217
17	0,5	23,5	0,0213
17,5	0,5	24	0,0208
18	0,5	24,5	0,0204
18,5	0,5	25	0,0200
19	0,5	25,5	0,0196
19,5	0,5	26	0,0192
20	0,5	26,5	0,0189
20,5	0,5	27	0,0185
21	0,5	26,5	0,0189
21,5	0,5	26	0,0192
22	0,5	25,5	0,0196
22,5	0,5	25	0,0200
23	0,5	24	0,0208
23,5	0,5	23	0,0217
24	0,5	22	0,0227
24,5	0,5	21	0,0238
25	0,5	22,5	0,0222
25,5	0,5	24	0,0208
26	0,5	25,5	0,0196
26,5	0,5	27	0,0185
27	0,5	27,5	0,0182
27,5	0,5	28	0,0179
28	0,5	28,5	0,0175
28,5	0,5	29	0,0172
29	0,5	30	0,0167
29,5	0,5	31	0,0161
30	0,5	32	0,0156

Dari hasil perhitungan di atas, diperoleh nilai N SPT rata-rata  $15 \leq N \leq 50$ , maka tanah termasuk ke dalam kelas situs **Tanah Sedang** (Tabel 2 SNI 2833-2013).

Tabel 4.17. Kelas Situs

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	<p>Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Indeks plastisitas, <math>PI &gt; 20</math>,</li> <li>2. Kadar air (<math>w</math>) <math>\geq 40\%</math>, dan</li> <li>3. Kuat geser tak terdrainase <math>\bar{S}_u &lt; 25</math> kPa</li> </ol> <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>- Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan <math>&gt; 3</math>m)</li> <li>- Plastisitas tinggi (ketebalan <math>H &gt; 7.5</math>m dengan <math>PI &gt; 75</math>)</li> <li>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan <math>H &gt; 35</math>m</li> </ul>		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

- **Faktor Situs dan Parameter Gempa Lainnya**
  - a. **PGA** (Percepatan puncak batuan dasar) : 0.2 (Gambar 2.7)
  - b.  **$S_s$**  (Parameter respon spectra percepatan gempa untuk periode pendek  $T = 0.2$  detik : 0.4 (Gambar 2.8)
  - c.  **$S_1$**  (Parameter respon spectra percepatan gempa untuk periode 1 detik : 0.2 (Gambar 2.9)
    - d.  **$F_a$**  (Faktor amplikasi periode pendek) : 1,4 (Tabel 3 SNI 2833-2013)
    - e.  **$F_{PGA}$**  (Faktor amplikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik) : 1,4 (Tabel 3 SNI 2833-2013)
    - f.  **$F_v$**  (Faktor amplikasi untuk periode 1 detik) : 2 (Tabel 4 SNI 2833-2013)
    - g.  **$S_{Ds}$**  (Nilai spectra permukaan tanah pada periode pendek 0.2 detik) :

- $S_{DS} = F_a \times S_S = 1,4 \times 0,2 = 0,56$   
 h.  **$S_{D1}$**  (Nilai spectra permukaan tanah pada periode pendek 1 detik) :  
 $S_{D1} = F_v \times S_1 = 2 \times 0,2 = 0,4$   
 i.  **$A_s$**  =  $F_{PGA} \times PGA = 1,4 \times 0,2 = 0,280$   
 j.  **$I$**  (*Importance Factor*) : 1 (Standard design criteria for port in Indonesia 1984, Tabel 5.5)  
 k.  **$R$**  (Faktor modifikasi respon) : 1 (pasal 5.9.3.2. SNI 2833-2013)  
 l. Scale Factor :  $1/R \times g = 1/1 \times 9,8 = 9,8$   
 m. Zona Gempa : 3 ;  $S_{D1} = 0,4$

Tabel 4.18. Zona Gempa

Koefisien percepatan ( $S_{D1}$ )	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

- **Koefisien Respons Gempa Elastik**

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0,4 / 0,56 = 0,71$$

$$T_0 = 0,2 \times T_s = 0,2 \times 0,71 = 0,14$$

Untuk  $T < T_0$ , spectrum respon percepatan desain :

$$C_{SM} = (S_{DS} - A_s) T / T_0 + A_s = 0,28$$

Untuk  $T \geq T_0$  dan  $< T_s$ , spectrum respon percepatan desain :  $C_{SM} = S_{DS} = 0,56$

Untuk  $T > T_s$ , spectrum respon percepatan desain :

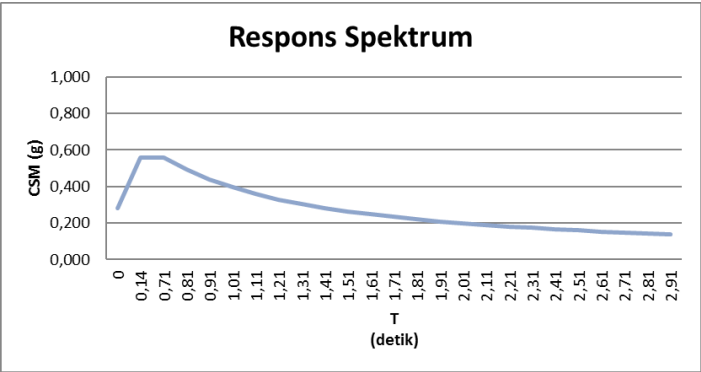
$$C_{SM} = S_{D1} / T$$

Berikut disajikan tabel respon spektrum untuk gempa wilayah 3 dengan type tanah sedang :

Tabel 4.19 Respon Spektrum Wilayah Gempa Zona 3

T	T	C <sub>SM</sub>
	(detik)	(g)
0	0	0,280
T <sub>0</sub>	0,14	0,560
T <sub>s</sub>	0,71	0,560
T <sub>s</sub> +0.1	0,81	0,491
T <sub>s</sub> +0.1	0,91	0,438
T <sub>s</sub> +0.1	1,01	0,394
T <sub>s</sub> +0.1	1,11	0,359
T <sub>s</sub> +0.1	1,21	0,329
T <sub>s</sub> +0.1	1,31	0,304
T <sub>s</sub> +0.1	1,41	0,283
T <sub>s</sub> +0.1	1,51	0,264
T <sub>s</sub> +0.1	1,61	0,248
T <sub>s</sub> +0.1	1,71	0,233
T <sub>s</sub> +0.1	1,81	0,220
T <sub>s</sub> +0.1	1,91	0,209
T <sub>s</sub> +0.1	2,01	0,199
T <sub>s</sub> +0.1	2,11	0,189
T <sub>s</sub> +0.1	2,21	0,181
T <sub>s</sub> +0.1	2,31	0,173
T <sub>s</sub> +0.1	2,41	0,166
T <sub>s</sub> +0.1	2,51	0,159
T <sub>s</sub> +0.1	2,61	0,153
T <sub>s</sub> +0.1	2,71	0,147
T <sub>s</sub> +0.1	2,81	0,142
T <sub>s</sub> +0.1	2,91	0,137

Gambar 4.16 Grafik Respons Spektrum



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB V**

### **ANALISA STRUKTUR**

#### **5.1 Analisa Struktur**

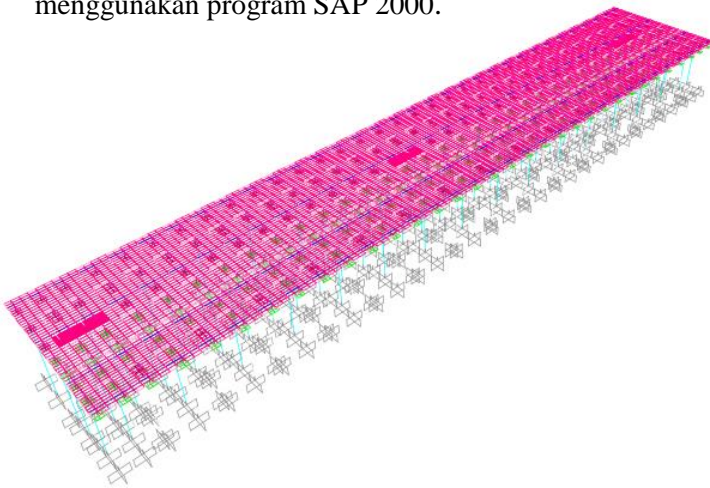
Analisa struktur yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi analisa plat lantai, balok, Pile cap dan tiang baik pada struktur dermaga ,catwalk, maupun mooring dolphin

##### **5.1.1 Model Dermaga, Mooring Dolphin, Catwalk**

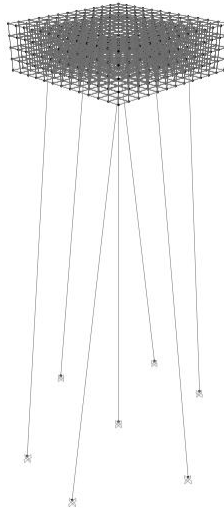
Struktur dermaga, catwalk, dan mooring dolphin dianalisa menggunakan program SAP2000 untuk mendapatkan gaya-gaya yang bekerja.

Beban yang bekerja pada konstruksi dermaga catwalk, dan mooring dolphin meliputi beban berat sendiri fender, UDL, hujan, crane, truk, tumbukan kapal, tarikan kapal, gelombang, arus dan gempa.

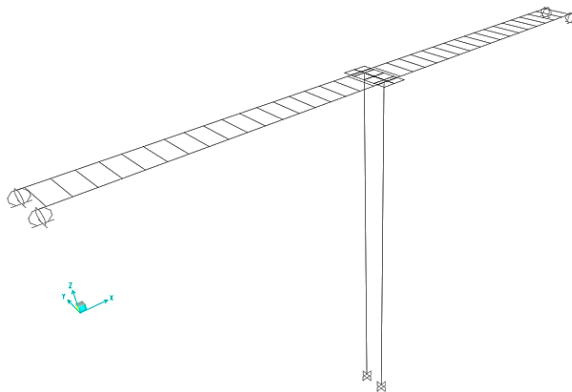
Berikut ini disajikan model struktur yang dianalisa menggunakan program SAP 2000.



Gambar 5.1. Model Struktur Dermaga



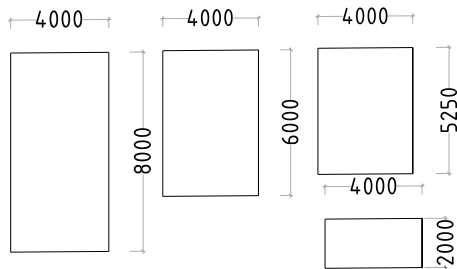
Gambar 5.2. Model Struktur Mooring Dolphin



Gambar 5.3 Model Struktur Catwalk

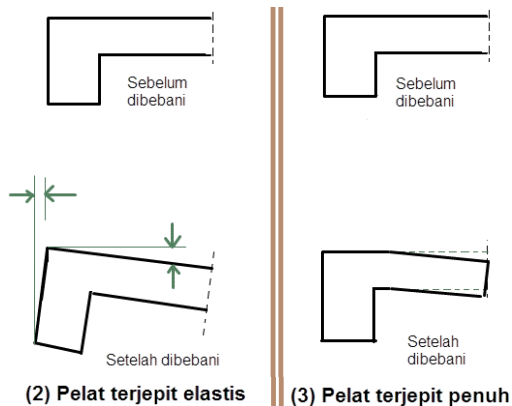
### 5.1.2 Model Struktur Plat

Analisis struktur plat menggunakan program SAP2000 dan dimodelkan sebagai shell untuk mendapatkan gaya-gaya yang bekerja pada plat.



Gambar 5.4 Contoh Tipe Plat Dermaga

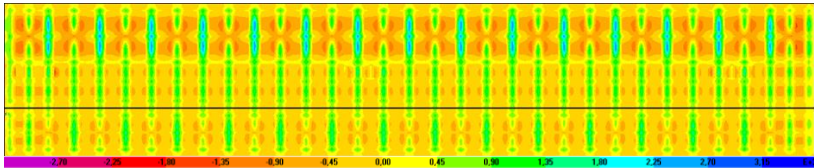
Dalam perhitungan momen plat dermaga, asumsi plat sebagai plat lentur dan dianggap terjepit penuh dengan balok pada keempat sisinya. Dikatakan jepit penuh bila tumpuan mampu mencegah plat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir. Bila balok tepi tidak cukup kuat untuk mencegah rotasi sama sekali, maka plat dikatakan terjepit sebagian atau jepit elastis. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



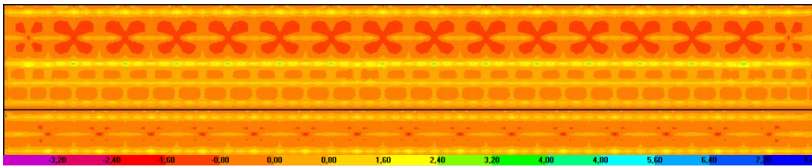
Gambar 5.5. Tipe Tumpuan Plat Tepi



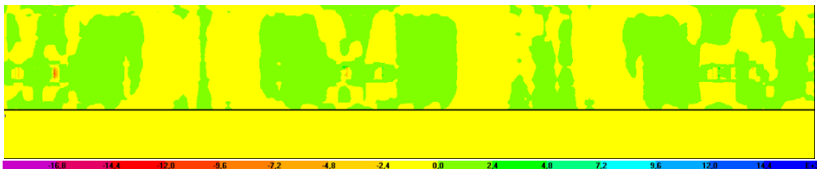
Dalam analisa struktur plat, beban yang bekerja ialah beban mati merata, beban hidup, beban crane, dan beban truk trailer dengan perlakuan beban-beban yang bekerja pada plat dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini. Sedangkan output dari analisa struktur plat dengan program SAP2000 disajikan dalam bentuk gambar kontur momen plat berikut ini.



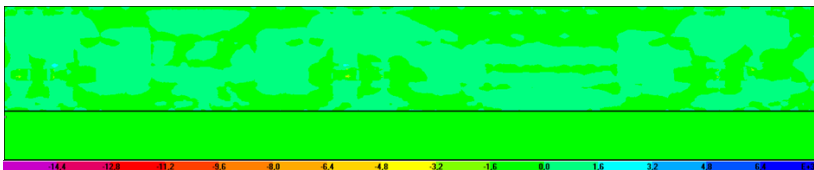
Gambar 5.6. Kontur momen plat akibat beban mati merata M11



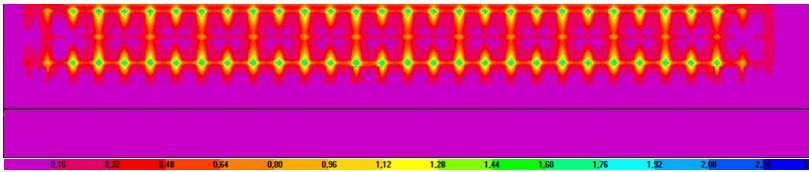
Gambar 5.7. Kontur momen plat akibat beban mati merata M22



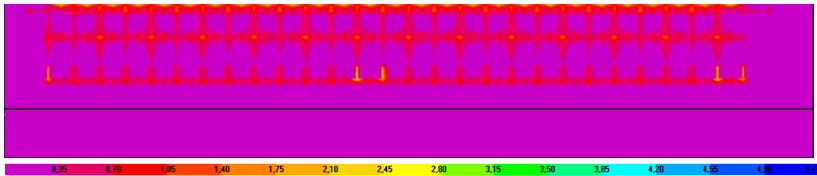
Gambar 5.8. Kontur momen plat akibat beban truk M11



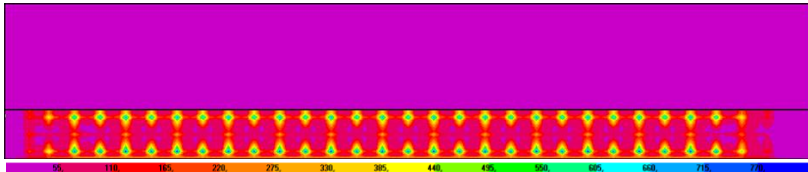
Gambar 5.9. Kontur momen plat akibat beban truk M22



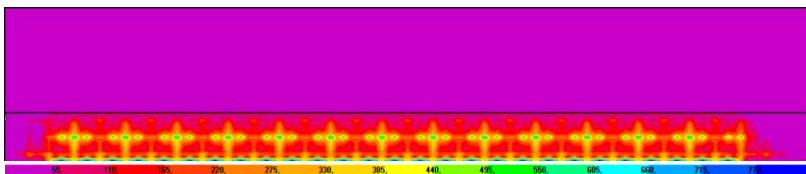
Gambar 5.10. Kontur momen plat akibat beban Crane 1 M11



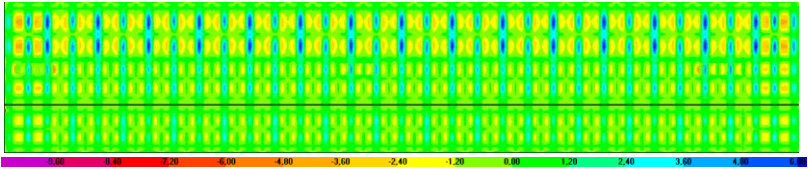
Gambar 5.11. Kontur momen plat akibat beban Crane 1 M22



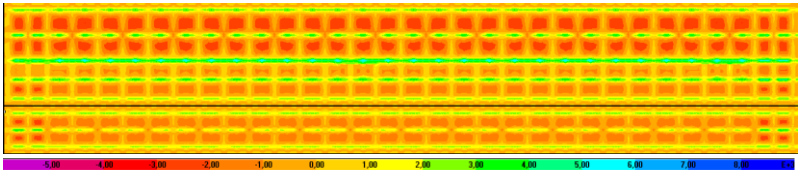
Gambar 5.12. Kontur momen plat akibat beban crane 2 M11



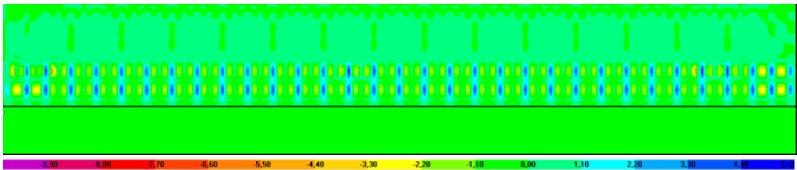
Gambar 5.13. Kontur momen plat akibat beban crane 2 M22



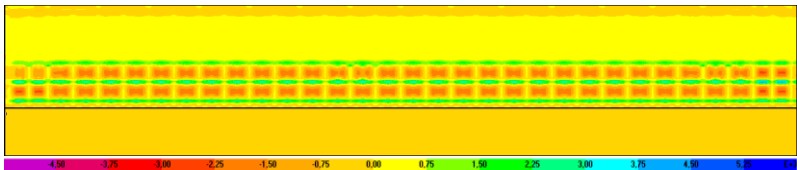
Gambar 5.14. Kontur momen plat akibat beban hidup UDL1 merata M11



Gambar 5.15. Kontur momen plat akibat beban hidup UDL1 merata M22



Gambar 5.16. Kontur momen plat akibat beban hidup UDL5 merata M11



Gambar 5.17. Kontur momen plat akibat beban hidup UDL5 merata M22

## 5.2 Perencanaan Plat

### 5.2.1 Penulangan Plat Dermaga

Penulangan plat dermaga dihitung dengan mengambil momen terbesar dari kombinasi beban yang dianalisa oleh program SAP 2000.

Momen Plat Rencana (ton.m)			
Mlx	Mly	Mtx	Mty
30,45	27,35	-49,61	-22,04

(Sumber : *Output Perhitungan Sap2000*)

Data-data rencana :

$$\begin{aligned}
 h &= 350 \text{ mm} && (\text{tebal plat}) \\
 p &= 50 \text{ mm} && (\text{selimut beton}) \\
 D &= 25 \text{ mm} && (\text{diameter tulangan}) \\
 \phi &= 0.8 \\
 m &= f_y / (0.85 f_c') \\
 &= 390 / (0.85 \times 35) = 13,11
 \end{aligned}$$

Mutu Beton :

$$\begin{aligned}
 K &= 421 \text{ kg/cm}^2 \text{ (} f_c' = 35 \text{ MPa)} \\
 \beta &= 0.85 - (0.008 * (35 - 30 \text{ MPa})) = 0.814 \\
 E_b &= 4700 \sqrt{f_c'} = 27805.57 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Mutu Baja Tulangan :

$$\begin{aligned}
 f_y &= 390 \text{ MPa} \\
 E_s &= 2 \times 10^5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tinggi Efektif :

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - p - 1/2D = 350 - 50 - 1/2 \cdot 25 = 287,5 \text{ mm} \\
 d_y &= h - p - D - 1/2D = 350 - 50 - 25 - 1/2 \cdot 25 \\
 &= 262,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Tulangan Tumpuan Arah X

$$M_u = 49,61 \text{ ton.m}$$

$$= 4,96 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 4,96 \times 10^8 / 0.8$$

$$= 6,2 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = M_n / (b \cdot d x^2)$$

$$= 6,2 \times 10^8 / (1000 \times 287,5^2) = 7,5$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

$$\rho_b = 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0.85 \times 0.814 \times \frac{35}{390} \times \frac{600}{600+390} = 0.0376$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0376$$

$$= 0.0282$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,11} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 7,5}{390}} \right)$$

$$\rho = 0.0226$$

$$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min},$$

maka digunakan  $\rho = 0.0226$

$$A_s = \rho \times b \times d x$$

$$= 0.0226 \times 1000 \times 287,5$$

$$= 6491,86 \text{ mm}^2$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$s = (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b) / A_s$$

$$= (\frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \times 1000) / 6491,86$$

$$= 75,61 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan diameter **25 - 75 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (1000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (1000/75) \\ &= 6544,99 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \text{ 6491,86} \rightarrow \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y = 6544,99 \times 390 \\ &= 2552544 \text{ N} \\ a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 2552544 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\ &= 85,8 \text{ mm} \\ \Phi M_n &= \phi \times T \times (d_x - a/2) \\ &= 0.8 \times 2552544 \times (287,5 - 85,8 / 2) \\ &= 4,99 \times 10^8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 4,96 \times 10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

**Tulangan Lapangan Arah X**

$$\begin{aligned} M_u &= 30,45 \text{ ton.m} \\ &= 3,05 \times 10^8 \text{ Nmm} \\ M_n &= M_u / \phi \\ &= 3,05 \times 10^8 / 0.8 \\ &= 3,8 \times 10^8 \text{ Nmm} \\ R_n &= M_n / (b \cdot d_x^2) \\ &= 3,8 \times 10^8 / (1000 \times 287,5^2) \\ &= 4.6 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0.85 \times 0.814 \times \frac{35}{390} \times \frac{600}{600+390} \\ &= 0.0376 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0376 \\ &= 0.0282 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ \rho &= \frac{1}{13,11} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,6}{390}} \right) \\ \rho &= 0,0129\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} > \rho > \rho_{\text{min}},$$

maka digunakan  $\rho = 0,0129$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0129 \times 1000 \times 287,5 \\ &= 3707,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned}s &= (\frac{1}{4} \times \pi \times d_t^2 \times b) / A_s \\ &= (\frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2 \times 1000) / 3707,7 \\ &= 132,21 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 – 130 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (1000/s) \\ &= 3,14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (1000/130) \\ &= 3775,95 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \rightarrow \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned}T &= A_{st} \cdot f_y = 3775,95 \times 390 \\ &= 1472621,6 \text{ N} \\ a &= T / (0,85 \times f_c' \times b) \\ &= 1472621,6 / (0,85 \times 35 \times 1000) \\ &= 49,5 \text{ mm} \\ \Phi M_n &= \phi \times T \times (d_x - a/2) \\ &= 0,8 \times 1472621,6 \times (287,5 - 49,5 / 2) \\ &= 3,095 \times 10^8 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 3,05 \times 10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

### Tulangan Tumpuan Arah Y

$$Mu = 22,04 \text{ ton.m}$$

$$= 2,2 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$Mn = Mu / \phi$$

$$= 2,2 \times 10^8 / 0.8$$

$$= 2,75 \times 10^8 \text{ Nmm}$$

$$Rn = Mn / (b \cdot d^2)$$

$$= 2,75 \times 10^8 / (1000 \times 262,5^2)$$

$$= 4,0$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036$$

$$\rho_b = 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0.85 \times 0.814 \times \frac{35}{390} \times \frac{600}{600+390}$$

$$= 0.0376$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0376$$

$$= 0.0282$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,11} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,0}{390}} \right)$$

$$\rho = 0.0111$$

$$\rho_{\max} > \rho > \rho_{\min},$$

maka digunakan  $\rho = 0.0111$

$$As = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0.0111 \times 1000 \times 262,5$$

$$= 2900,81 \text{ mm}^2$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$s = (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b) / As$$

$$= (\frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \times 1000) / 2900,81$$

$$= 169,22 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan diameter **25- 165 mm**



Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (1000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (1000/165) \\ &= 2974,99 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \rightarrow \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y = 2974,99 \times 390 \\ &= 1160247,3 \text{ N} \\ a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 1160247,3 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\ &= 38,9 \text{ mm} \\ \Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\ &= 0.8 \times 1160247,3 \times (262,5 - 38,9 / 2) \\ &= 2,26 \times 10^8 \text{ Nmm} \\ \Phi M_n &> M_u = 2,204 \times 10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK} \end{aligned}$$

**Tulangan Lapangan Arah Y**

$$\begin{aligned} M_u &= 27,35 \text{ ton.m} \\ &= 2,73 \times 10^8 \text{ Nmm} \\ M_n &= M_u / \phi \\ &= 2,73 \times 10^8 / 0.8 \\ &= 3,4 \times 10^8 \text{ Nmm} \\ R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\ &= 3,4 \times 10^8 / (1000 \times 262,5^2) \\ &= 4,96 \\ \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036 \\ \rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0.85 \times 0.814 \times \frac{35}{390} \times \frac{600}{600+390} = 0.0376 \\ \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0376 \\ &= 0.0282 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,11} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 4,96}{390}} \right)$$

$$\rho = 0.0140$$

$$\rho_{\text{maks}} > \rho > \rho_{\text{min}},$$

maka digunakan  $\rho = 0.0140$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_y \\ &= 0.0140 \times 1000 \times 262,5 \\ &= 3676,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned} s &= \left( \frac{1}{4} \times \pi \times d_t^2 \times b \right) / A_s \\ &= \left( \frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \times 1000 \right) / 3676,45 = 133,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 -130 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (1000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (1000/130) \\ &= 3775,95 \text{ mm}^2 \quad A_{st} > A_s \rightarrow \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y = 3775,95 \times 390 \\ &= 1472621,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 1472621,6 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\ &= 49,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= \phi \times T \times (d_y - a/2) \\ &= 0.8 \times 1914408 \times (262,5 - 49,5/2) \\ &= 2,8 \times 10^8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 2,73 \times 10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

### 5.2.2 Kontrol Lendutan Plat

Kontrol lendutan pada plat dihitung dengan mengatur dimensi dari plat yang terdiri dari lendutan sesaat dan lendutan jangka panjang.

#### ▪ Lendutan Sesaat dan Jangka Panjang

Lendutan sesaat akibat beban layan luar terjadi segera pada saat bekerja harus dihitung dengan menggunakan nilai  $E_{cj}$  yang ditentukan dan nilai momen efektif kedua dari luas unsur,  $I_{ef}$ .

Disamping lendutan sesaat, beton bertulang akan mengalami pula lendutan yang timbul secara berangsur – angsur dalam jangka waktu yang lama.

Dengan sendirinya bertambahnya regangan mengakibatkan perubahan distribusi tegangan pada beton dan tulangan baja sehingga lendutan bertambah untuk beban yang bersifat tetap. Selanjutnya lendutan ini disebut lendutan jangka panjang. Adapun perhitungan sesaat dan jangka panjang adalah sebagai berikut :

- Memasukkan nilai Modulus Elastisitas beton  $E_c$  berikut dalam program SAP 2000 SHELL :  
 Nilai Modulus Elastisitas beton  $E_c$  dihitung sebagai berikut :

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{35}$$

$$E_c = 27805 \text{ MPa}$$

Dari SAP 2000 didapat lendutan sesaat  $\Delta_{st}$  maksimum yang terjadi pada plat ialah 1,594 cm yang disebabkan oleh kombinasi Ultimate 1.2DL+1,6LL

- Perhitungan lendutan jangka panjang dihitung dengan mengalikan lendutan sesaat dengan nilai pengali  $K_{cs}$  yaitu:

$$K_{cs} = 2 - 1,2 \left( \frac{A_{sc}}{A_{st}} \right) = 2 - 1,2(1) = 0,8 \geq 0,8$$

Sehingga lendutan jangka panjang  $\Delta_{lt}$  akibat beban

- beban yang bekerja pada plat adalah sebagai berikut :

Lendutan jangka panjang  $\Delta_{lt}$  akibat kombinasi ultimate 1.2DL+1,6LL:

$$\Delta_{lt} = \Delta_{st} \times K_{cs} = 1,594 \times 0,8 = 1,275 \text{ cm}$$

Pengecekan lendutan ijin harus dibatasi sebagaimana berikut ini :

Lendutan akibat pengaruh beban tetap yaitu :

$$0 < \text{lendutan yang terjadi} < L_n / 300$$

$$0 < 1,275 < 2,67 \text{ cm} \quad \mathbf{OK}$$

## 5.3 Perencanaan Balok

### 5.3.1 Penulangan Balok Dermaga

Berikut ini akan diuraikan cara perhitungan penulangan balok, contoh balok crane dermaga 1000/2000 mm, baik tulangan lentur, torsi, maupun geser. Untuk perhitungan tulangan balok lainnya disajikan pada lampiran.

#### 1. Penulangan Lentur

Data Perencanaan :

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 2000 \text{ mm}$$

$$d' = 75 \text{ mm}$$

$$D \text{ tul} = 25 \text{ mm}$$

$$\phi = 0.8$$

Mutu Beton :

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0.85 - (0.008 * (f_c' - 30)) = 0.81 \text{ MPa}$$

Mutu Baja U-40 :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

### **Tulangan Tumpuan**

$$M_u = 5121155300 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 5121155300 / 0.8$$

$$= 6401444125 \text{ Nmm}$$

$$d = 2000 - 75 - 16 - \frac{1}{2}(25) = 1896,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = 1.4 / f_y$$

$$= 1.4 / 400$$

$$= 0.0035$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.81 \times 35}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0.0361$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.0361 = 0,0271$$

Di rencanakan **Tumpuan Tarik**

Tulangan terpasang : **14 D25**

$$A_{st} = \pi/4 \cdot D^2 \cdot n$$

$$= 3.14/4 \times 25^2 \times 14$$

$$= 6868,75 \text{ mm}^2$$

$$\rho (\text{tarik}) = A_{st}/b.d$$

$$= 6868,75 / (1000 \times 1896,5)$$

$$= 0.0036$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Cek kemampuan nominal :

$$T = A_{st} \times f_y$$

$$= 6868,75 \times 400$$

$$= 2747500 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\
 &= 2747500 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\
 &= 92,35 \text{ mm} \\
 \phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0.8 \times 2747500 \times (1896,5 - 92,35/2) \\
 &= 4067011118 \text{ Nmm} \\
 &\text{momen tahanan bagian bertulangan tunggal}
 \end{aligned}$$

### Kontrol 1

$\phi M_n > M_u = 5121155300 \rightarrow \text{TIDAK OK}$   
 Direncanakan tulangan rangkap, perlu tulangan tekan bagian tumpuan :

Momen yang harus dipikul tulangan rangkap :

$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{5121155300}{0,8} - 4067011118 \\
 &= 2334433007 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk tulangan rangkap perlu meneyelidiki apakah tulangan tekan sudah leleh, dengan kontrol :

$$\begin{aligned}
 \rho - \rho' &\geq \frac{0.85 \times \beta \times f_c' \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y} \\
 &\geq \frac{0.85 \times 0.81 \times 35 \times 75}{400 \times 1896,5} \times \frac{600}{600 - 400}
 \end{aligned}$$

$$0,5 \rho_b \geq 0.008$$

$0,0181 \geq 0.008 \rightarrow$  dengan demikian, tulangan tekan telah leleh  $\rightarrow f'_s = f_y$

$$M_{n2} = A's \times f_y \times (d - d')$$

Maka  $A's$  luas tulangan tekan dibutuhkan) dapat diketahui

$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= A's \times f_y \times (d - d') \\
 2334433007 &= A's \times 400 \times (1896,5 - 75) \\
 A's &= 3599,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho'(\text{tekan}) &= A's/b.d \\
 &= 3599,19 / (1000 \times 1896,5) \\
 &= 0.0019
 \end{aligned}$$

Di rencanakan **Tumpuan Tekan**

Tulangan terpasang : **8 D25**

$$\begin{aligned}
 A's &= \pi/4 \cdot D^2 \cdot n \\
 &= 3.14/4 \times 25^2 \times 8 \\
 &= 3925 > A's = 3599,19 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

As Total Pakai

$$\begin{aligned}
 &= A_{st}(\text{tarik}) + A's(\text{tekan}) \\
 &= 6868,75 + 3599,19 \text{ mm}^2 \\
 &= 10793,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \text{ tot} \times f_y \\
 &= 10793,75 \times 400 = 4317500 \text{ N} \\
 a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\
 &= 4317500 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\
 &= 145,12 \text{ mm} \\
 \phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0.8 \times 4317500 \times (1896,5 - 145,12/2) \\
 &= 6299878311 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

momen tahanan bagian bertulangan rangkap

**Kontrol Total**

$$\phi M_n > M_u = 5121155300 \rightarrow \text{OK}$$

**Tulangan Lapangan**

$$\begin{aligned}
 M_u &= 4271354900 \text{ Nmm} \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 4271354900 / 0.8 \\
 &= 5339193625 \text{ Nmm} \\
 d &= 2000 - 75 - 16 - \frac{1}{2}(25) = 1896,5 \text{ mm} \\
 \rho_{min} &= 1.4 / f_y \\
 &= 1.4 / 400 = 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0.85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 0.81 \times 35}{400} \times \frac{600}{600+400} \\
 &= 0.0361
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{maks} &= 0.75 \times \rho_b \\
 &= 0.75 \times 0.0361 = 0,0271
 \end{aligned}$$

Di rencanakan **Lapangan Tarik**  
 Tulangan terpasang : **14 D25**

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \pi/4 \cdot D^2 \cdot n \\
 &= 3.14/4 \times 25^2 \times 14 \\
 &= 6868,75 \text{ mm}^2 \\
 \rho \text{ (tarik)} &= A_{st}/b.d \\
 &= 6868,75 / (1000 \times 1896,5) \\
 &= 0.0036
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \times f_y \\
 &= 6868,75 \times 400 \\
 &= 2747500 \text{ N} \\
 a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\
 &= 2747500 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\
 &= 92,35 \text{ mm} \\
 \phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0.8 \times 2747500 \times (1896,5 - 92,35/2) \\
 &= 4067011118 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

momen tahanan bagian bertulangan tunggal

### Kontrol 1

$$\phi M_n > M_u = 4271354900 \rightarrow \text{TIDAK OK}$$



Direncanakan tulangan rangkap, perlu tulangan tekan bagian tumpuan :

Momen yang harus dipikul tulangan rangkap :

$$Mn2 = \frac{MU}{\phi} = \frac{4067011118}{0,8} - 4271354900 \\ = 1272182507 \text{ Nmm}$$

Untuk tulangan rangkap perlu menyelidiki apakah tulangan tekan sudah leleh, dengan kontrol :

$$\rho - \rho' \geq \frac{0.85 \times \beta \times f_c' \times d'}{f_y \times d} \times \frac{600}{600 - f_y} \\ \geq \frac{0.85 \times 0.81 \times 35 \times 75}{400 \times 1896,5} \times \frac{600}{600 - 400}$$

$$0,5 \rho_b \geq 0.008$$

$0,0181 \geq 0.008 \rightarrow$  dengan demikian, tulangan tekan telah leleh  $\rightarrow f'_s = f_y$

$$Mn2 = A's \times f_y \times (d - d')$$

Maka  $A's$  luas tulangan tekan dibutuhkan dapat diketahui

$$Mn2 = A's \times f_y \times (d - d')$$

$$1272182507 = A's \times 400 \times (1896,5 - 75)$$

$$A's = 1961,42 \text{ mm}^2$$

$$\rho'(\text{tekan}) = A_{st}/b.d \\ = 1961,42 / (1000 \times 1896,5) \\ = 0.001$$

Di rencanakan **Lapangan Tekan**

Tulangan terpasang : **8 D25**

$$A'st = \pi/4 \cdot D^2 \cdot n$$

$$= 3.14/4 \times 25^2 \times 8$$

$$= 3925 > A's = 1961,42 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

As Total Pakai

$$\begin{aligned}
 &= A_{st} \text{ (tarik)} + A'_{st} \text{ (tekan)} \\
 &= 6868,75 + 3925 \text{ mm}^2 \\
 &= 10793,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek kemampuan nominal :

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \text{ tot} \times f_y \\
 &= 10793,75 \times 400 = 4317500 \text{ N} \\
 a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\
 &= 4317500 / (0.85 \times 35 \times 1000) \\
 &= 145,12 \text{ mm} \\
 \phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0.8 \times 4317500 \times (1896,5 - 145,12/2) \\
 &= 6299878311 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

momen tahanan bagian bertulangan rangkap

**Kontrol Total**

$$\phi M_n > M_u = 4271354900 \rightarrow \text{OK}$$

## 2. Penulangan Torsi

Data Perencanaan :

$$\begin{aligned}
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 h &= 2000 \text{ mm} \\
 p &= 75 \text{ mm} \\
 D_{tul} &= 25 \text{ mm} \\
 \phi &= 0.75 \\
 \theta &= 45^\circ \text{ (struktur nonpratekan)} \\
 \cot \theta &= 1
 \end{aligned}$$

Mutu Beton :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 35 \text{ MPa} \\
 \beta &= 0.85 - (0.008 \times (f_c' - 30)) = 0.81 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Mutu Baja U-40 :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Perhitungan tulangan :

$$T_u = 1586168700 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 3974583 \text{ N}$$

$$A_{cp} = b \times h$$

$$= 1000 \times 2000 = 2000000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 (b + h)$$

$$= 2 (1000 + 2000) = 6000 \text{ mm}^2$$

Hitung batasan nilai momen torsi yang boleh diabaikan.

$$\begin{aligned} T_u &> \phi \cdot \frac{\sqrt{f_c'}}{12} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ &> 0.75 \cdot \frac{\sqrt{35}}{12} \cdot \left( \frac{2000000^2}{6000} \right) \end{aligned}$$

$$1586168700 > 246503324,3 \text{ Nmm}$$

Maka torsi harus diperhitungkan.

Hitung tahanan momen torsi yang diperlukan :

$$T_n = T_u / \phi$$

$$= 1586168700 / 0.75$$

$$= 2114891600 \text{ Nmm}$$

Hitung sifat-sifat tampang datar yang diperlukan,  $A_o = 0.85 \cdot A_{oh}$ , dimana  $A_{oh}$  merupakan bagian luasan penampang yang dibatasi garis berat sengkang tertutup. Jika diasumsikan diameter sengkang 16 mm dan selimut beton atas 60 mm, bawah dan samping 75mm, maka :

$$x_1 = 1000 - 2 (75 + 16 / 2) = 834 \text{ mm}$$

$$y_1 = 2000 - ((60 + 75) + 2(16/2)) = 1849 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = x_1 \cdot y_1 = 1542066 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0.85 \times A_{oh} = 1310756 \text{ mm}^2$$

$$d = 2000 - 75 - 16 - 25/2 = 1896 \text{ mm}$$

$$P_h = 2 (x_1 + y_1) = 5366 \text{ mm}$$

Periksa kecukupan dimensi penampang :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot h}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot Ph}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \cdot h} + \frac{2\sqrt{f_c'}}{3}\right)$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d = 1869974,22 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{833717,6}{1000 \times 1896}\right)^2 + \left(\frac{1173897500 \times 5366}{1.7 \times 1542066^2}\right)^2} \leq$$

$$0.75 \left(\frac{1869974,2}{1000 \cdot 1896} + \frac{2\sqrt{35}}{3}\right)$$

$$2,97 \text{ MPa} < 3.69 \text{ MPa} , \rightarrow \text{OK}$$

Maka kuat lentur tampang mencukupi.

Hitung kebutuhan tulangan torsi :

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_{yv} \cdot \cot\theta} = \frac{2114891600}{2 \times 1310756 \times 400 \times 1} \\ &= 2,016 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} \geq b_w / 6f_{yv} = 1000 / (6 \times 400) = 0.41 \rightarrow \text{OK}$$

Kebutuhan tulangan torsi arah longitudinal :

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} Ph \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}}\right) \cot^2\theta \\ &= 2,016 \times 5366 \times \left(\frac{400}{400}\right) \times 1^2 \\ &= 10822,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{5 \sqrt{f_c'} A_{cp}}{12 f_{yl}} - \frac{A_t}{s} \times Ph \times \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \\ &= \frac{5 \sqrt{35} \cdot 2000000}{12 \times 400} - 2,016 \times 5366 \times \frac{400}{400} \\ &= 1502,683 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_l = 10822,48 \text{ mm}^2 > A_l \text{ min} = 1502,683 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan torsi arah longitudinal 10822,48 mm<sup>2</sup>.

Dalam pemasangannya tulangan torsi longitudinal (Al) disebar; ½ Al didistribusikan merata pada muka tampang arah vertikal

Tulangan bagian badan :

$$\frac{1}{2} \times 10822,48 \text{ mm}^2 = 5411,24 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai } \mathbf{12D-25} = 5887,5 \text{ mm}^2 \mathbf{OK}$$

### 3. Penulangan Geser

Data Perencanaan :

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 2000 \text{ mm}$$

$$p = 75 \text{ mm}$$

$$\phi = 0.75$$

Mutu Beton :

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0.85 - (0.008 * (f_c' - 30)) = 0.81 \text{ MPa}$$

Mutu Baja U-40 :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

#### Tulangan Tumpuan

$$V_u = 3871648 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_u / \phi \\ &= 3871648 / 0.75 \\ &= 5162197 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} . b . d = 1869974,2 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{3} . b . d = 3739948,4 \text{ N}$$

$$V_{s.\min} = \frac{1}{3} . b . d = 632167 \text{ N}$$

$$V_{s.\max} = \frac{2}{3} . b . d = 7479896,9 \text{ N}$$

Kondisi 1 :

$$\begin{aligned} V_u &< 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \\ 3871648 \text{ N} &< 0,5 \times 0,75 \times 1869974,2 \text{ N} \\ 3871648 \text{ N} &< 701240,3 \rightarrow \textbf{TIDAK OK} \end{aligned}$$

Kondisi 2 :

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot V_c \\ 3871648 \text{ N} &< 0,75 \times 1869974,2 \text{ N} \\ 3871648 \text{ N} &< 1402480,7 \rightarrow \textbf{TIDAK OK} \end{aligned}$$

Kondisi 3 :

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot (V_c + V_{s,\min}) \\ 3871648 \text{ N} &< 0,75 \times 1869974,2 + 632167) \\ 3871648 \text{ N} &< 1876605,6 \rightarrow \textbf{TIDAK OK} \end{aligned}$$

Kondisi 4 :

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot (V_c + V_s) \\ 3840320 \text{ N} &< 0,75 \times 1869974,2 + 3739948) \\ 3840320 \text{ N} &< 7012403,3 \rightarrow \textbf{OK} \end{aligned}$$

Artinya, memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{3739948 \text{ N}}{400 \times 1896,5} \\ \frac{A_v}{s} &= 4,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v \text{ tot}}{s} &= \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ \frac{A_v \text{ tot}}{s} &= 2(2,01) + 4,93 = 8,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang sengkang 4 kaki berdiameter 16 mm.

Spasi tulangan :

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v}{A_v \text{ tot} / s} \\ s &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \cdot 4\right)}{8,9} \\ s &= 89,67 \text{ mm} \text{ Jadi } s. \text{ Pakai } = 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan sengkang : **D 16 – 85 mm**

Sedangkan nilai  $A_v$  total minimum adalah

$$A_v + 2 A_t = s \sqrt{f_c'} \frac{b_w \times s}{1200 f_y}$$

$$A_v + 2 A_t = 85 \sqrt{35} \frac{600 \times 100}{1200 \times 400}$$

$$A_v + 2 A_t = 89,04 \text{ mm}$$

Dan nilai  $A_v + 2 A_t$  tidak boleh kurang dari :

$$1/3 \times b \times s / f_y = 1/3 \times 1000 \times 85 / 400 = 70 \text{ mm}$$

$$\begin{array}{lll} A_v & > A_v + 2 A_t & > 1/3 \times b \times s / f_y \\ 803,8 & > 89,04 & > 70 \rightarrow \text{OK} \end{array}$$

### **Tulangan Lapangan**

$$V_u = 3974583 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_u / \phi \\ &= 3974583 / 0.75 \\ &= 5299444 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} \cdot b \cdot d = 1869974,2 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{3} \cdot b \cdot d = 3739948,4 \text{ N}$$

$$V_{s.\min} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot d = 632167 \text{ N}$$

$$V_{s.\max} = \frac{2}{3} \cdot b \cdot d = 7479896,9 \text{ N}$$

Kondisi 1 :

$$\begin{array}{ll} V_u & < 0,5 \cdot \phi \cdot V_c \\ 3974583 \text{ N} & < 0,5 \times 0.75 \times 1869974,2 \text{ N} \\ 3974583 \text{ N} & < 701240,3 \rightarrow \text{TIDAK OK} \end{array}$$

Kondisi 2 :

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot V_c \\ 3974583 \text{ N} &< 0,75 \times 1869974,2 \text{ N} \\ 3974583 \text{ N} &< 1402480,7 \rightarrow \textbf{TIDAK OK} \end{aligned}$$

Kondisi 3 :

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot (V_c + V_{s,\min}) \\ 3974583 \text{ N} &< 0,75 \times 1869974,2 + 632167) \\ 3974583 \text{ N} &< 1876605,6 \rightarrow \textbf{TIDAK OK} \end{aligned}$$

Kondisi 4 :

$$\begin{aligned} V_u &< \phi \cdot (V_c + V_s) \\ 3974583 \text{ N} &< 0,75 \times 1869974,2 + 3739948) \\ 3974583 \text{ N} &< 7012403,3 \rightarrow \textbf{OK} \end{aligned}$$

Artinya, memerlukan tulangan geser

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_y \times d} \\ \frac{A_v}{s} &= \frac{3739948 \text{ N}}{400 \times 1896,5} \\ \frac{A_v}{s} &= 4,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v \text{ tot}}}{s} &= \frac{2 A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ \frac{A_{v \text{ tot}}}{s} &= 2(2,01) + 4,93 = 8,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipasang sengkang 4 kaki berdiameter 16 mm.

Spasi tulangan :

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v}{A_{v \text{ tot}} / s} \\ s &= \frac{\left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \cdot 4\right)}{8,9} \\ s &= 89,67 \text{ mm} \text{ Jadi } s. \text{ Pakai } = 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan sengkang : **D 16 – 85 mm**

Sedangkan nilai  $A_v$  total minimum adalah

$$A_v + 2 A_t = s \sqrt{f_c'} \frac{b_w \times s}{1200 f_y}$$



$$A_v + 2 A_t = 85 \sqrt{35} \frac{600 \times 100}{1200 \times 400}$$

$$A_v + 2 A_t = 89,04 \text{ mm}$$

Dan nilai  $A_v + 2 A_t$  tidak boleh kurang dari :  
 $1/3 \times b \times s / f_y = 1/3 \times 1000 \times 85 / 400 = 70 \text{ mm}$

$$\begin{array}{rcl} A_v & > A_v + 2. A_t & > 1/3 \times b \times s / f_y \\ 803,8 & > 89,04 & > 70 \rightarrow \text{OK} \end{array}$$

***Hasil penulangan balok lainnya bisa dilihat di lapiran***

#### **4. Kontrol Displacement pada Balok Tepi**

Output pemodelan Sap2000 untuk displacement :

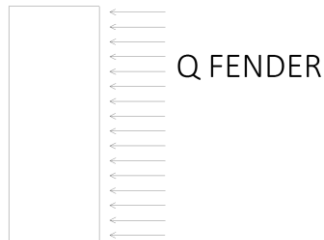
(1) arah Y (u2) (Sisi Laut) didapat  
 kombinasi ultimit kondisi Gempa :  
 (U)1,2 DL+0,9LL+1GY+0,3GX = 10 cm

(2) arah Y (u2) (Sisi Darat) didapat  
 kombinasi ultimit kondisi Gempa :  
 (U)1,2 DL+0,9LL+1GY+0,3GX = 12 cm

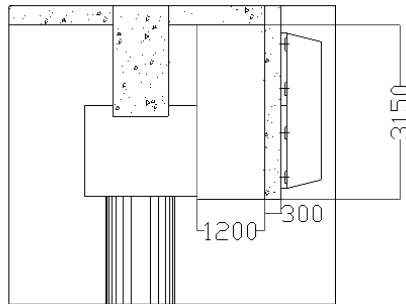
Artinya, Jika saat kondisi gempa maka dengan deletasi 15 cm, tidak akan terjadi benturan kedua dermaga tersebut (beban dominan gempa arah Y)

## 5.4 Perencanaan Balok Fender

### A. Sisi Laut



Gambar 5.18 Detail Balok Fender 1



Gambar 5.19 Gaya pada Penumpu Balok Fender 1

Data Perencanaan :

$$b_w = 3150 \text{ mm}$$

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$p = 80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - p \\ &= 1200 - 80 \\ &= 1120 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 3150/2 \\ &= 1575 \end{aligned}$$

$$\lambda = 1$$

$$\mu = 1.4 \lambda = 1.4$$

Dimensi Fender :

$$\begin{aligned} h &= 2.5 \text{ m} \\ b &= 0.6 \text{ m} \\ f_c' &= 35 \text{ MPa} \\ f_y &= 400 \text{ MPa} \\ \phi &= 0.75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Reaksi fender} &= 162 \text{ ton} \\ &= 162 \text{ ton} / 2.5 \text{ m} \\ &= 64,8 \text{ ton/m} \\ V_u &= 2 (64,8 \times 2.5) \\ &= 324 \text{ ton} \\ V_n &= V_u / \phi = 324 / 0.75 = 432 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kontrol dimensi :

$$\begin{aligned} V_n &\leq 0.2 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ 432 \times 10^4 \text{ N} &< 447 \times 10^4 \text{ N} \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Penulangan geser :

$$\begin{aligned} A_{v_f} &= V_u / (\phi \cdot f_y \cdot \mu) \\ &= 324 \times 10^4 / (0.75 \times 400 \times 1.4) \\ &= 7714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen :

$$\begin{aligned} N_{u_c} &= 2 \times (0.2 V_u) = 2 \times (0.2 \times 324 \times 10^4) \\ &= 130 \times 10^4 \text{ N} \\ M_u &= V_u \cdot a + N_u \cdot (h - d) \\ &= (324 \times 10^4 \times 1575) + (130 \cdot 10^4 \times (1200 - 1120)) \\ &= 510300 \cdot 10^4 + 10400 \cdot 10^4 \text{ Nmm} \\ &= 520700 \cdot 10^4 \text{ Nmm} \\ A_f &= M_u / (0.85 \phi \cdot f_y \cdot d) \\ &= 1608992000 / (0.85 \times 0.75 \times 400 \times 1120) \\ &= 18231,7 \text{ mm}^2 \\ A_n &= N_{u_c} / (\phi \cdot f_y) = 130 \cdot 10^4 / (0.75 \times 400) \\ &= 4333.3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tarik :

$$As_1 = Af + An = 22565 \text{ mm}^2$$

$$As_2 = 2/3 Av_f + An = 9476 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = 0.04 \times f_c' / f_y \times b_w \times d$$

$$As_{\min} = 0.04 \times 35/400 \times 3150 \times 1120$$

$$As_{\min} = 12348 \text{ mm}^2$$

Dipakai  $As = 12348 \text{ mm}^2$

Tulangan terpasang : **25 D25**

$$As_{\text{terpasang}} = 1/4 \times 3.14 \times 25^2 \times 20 = 12756 \text{ mm}^2$$

Tulangan geser :

$$Ah_1 = 1/2 (As - An) = 4211,3 \text{ mm}^2$$

$$Ah_2 = 1/3 \times Av_f = 2571 \text{ mm}^2 < As \text{ (OK)}$$

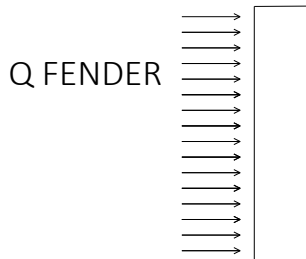
Dipakai  $As = 4211,3 \text{ mm}^2$

Tulangan terpasang : **D16 – 130 mm**

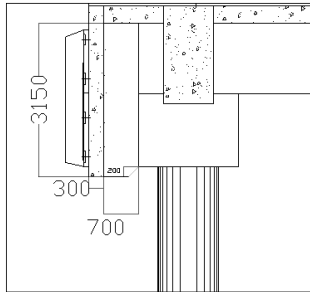
$$As_{\text{terpasang}} = 1/4 \times 3.14 \times 16^2 \times (3150/150)$$

$$As_{\text{terpasang}} = 4869 \text{ mm}^2 > As \text{ (OK)}$$

## B. Sisi Darat



Gambar 5.20 Detail Balok Fender 2



Gambar 5.21 Gaya pada Penumpu Balok Fender 2

Data Perencanaan :

$$\begin{aligned}
 b_w &= 3150 \text{ mm} \\
 h &= 700 \text{ mm} \\
 p &= 80 \text{ mm} \\
 d &= h - p \\
 &= 700 - 80 = 620 \text{ mm} \\
 a &= 3150/2 \\
 &= 1575 \\
 \lambda &= 1 \\
 \mu &= 1.4 \lambda = 1.4
 \end{aligned}$$

Dimensi Fender :

$$\begin{aligned}
 h &= 2.5 \text{ m} \\
 b &= 0.3 \text{ m} \\
 f_c' &= 35 \text{ MPa} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 \phi &= 0.75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Reaksi fender} &= 81 \text{ ton} \\
 &= 81 \text{ ton} / 2.5 \text{ m} \\
 &= 32,4 \text{ ton/m'} \\
 V_u &= 2 (32,4 \times 2.5) \\
 &= 162 \text{ ton} \\
 V_n &= V_u / \phi = 162 / 0.75 = 216 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Kontrol dimensi :

$$V_n \leq 0.2 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$216 \times 10^4 \text{ N} < 231 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Penulangan geser :

$$A_{vf} = V_u / (\phi \cdot f_y \cdot \mu)$$

$$= 162 \times 10^4 / (0.75 \times 400 \times 1.4)$$

$$= 3857 \text{ mm}^2$$

Momen :

$$N_{uc} = 2 \times (0.2 V_u) = 2 \times (0.2 \times 162 \times 10^4)$$

$$= 64,8 \times 10^4 \text{ N}$$

$$M_u = V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h - d)$$

$$= (162 \times 10^4 \times 1575) + (64,8 \times 10^4 \times (700 - 620))$$

$$= 255150 \cdot 10^4 + 5184 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$= 260334 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$$

$$A_f = M_u / (0.85 \phi \cdot f_y \cdot d)$$

$$= 2603340000 / (0.85 \times 0.75 \times 400 \times 620)$$

$$= 16466 \text{ mm}^2$$

$$A_n = N_{uc} / (\phi \cdot f_y) = 64,8 \cdot 10^4 / (0.75 \times 400)$$

$$= 2160 \text{ mm}^2$$

Tulangan tarik :

$$A_{s1} = A_f + A_n = 18626 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 2/3 A_{vf} + A_n = 4731 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.04 \times f_c' / f_y \times b_w \times d$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.04 \times 35 / 400 \times 3150 \times 620$$

$$A_{s \text{ min}} = 6836 \text{ mm}^2$$

Dipakai  $A_s = 6836 \text{ mm}^2$

Tulangan terpasang : **14 D25**

$$A_{s \text{ terpasang}} = 1/4 \times 3.14 \times 25^2 \times 20 = 6868 \text{ mm}^2$$

Tulangan geser :

$$A_{h1} = 1/2 (A_s - A_n) = 2363 \text{ mm}^2$$

$$A_{h2} = 1/3 \times A_{vf} = 1286 \text{ mm}^2 < A_s \quad (\text{OK})$$

Dipakai  $A_s = 2363 \text{ mm}^2$

Tulangan terpasang : **D16 – 250 mm**

As terpasang =  $\frac{1}{4} \times 3.14 \times 16^2 \times (3150/150)$

As terpasang =  $2532 \text{ mm}^2 > A_s$  (**OK**)

## 5.5 Perencanaan Pile Cap

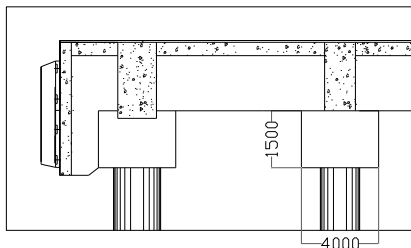
Pada sub ini akan diuraikan penulangan Pilecap berdasarkan dimensi Pilecap dan tiang pancang yang digunakan. Tipe Pilecap pada dermaga antara lain:

Table 5.1. Dimensi Pilecap Dermaga

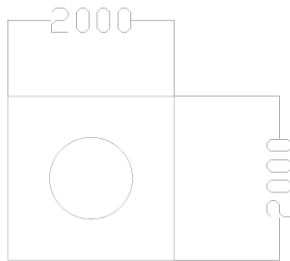
Tipe	Dimensi (mm)	Jumlah Tiang	Ket
A	2000 x 2000 x 1500	1	T. Tegak
B	4000 x 2000 x 2000	2	T. Miring

### 5.5.1 Penulangan Pilecap Tipe A

Penulangan terhadap pilecap direncanakan untuk mengatasi eksentrisitas terhadap posisi tiang pancang rencana pada saat pelaksanaan. Diambil contoh tiang tegak diameter tiang 914,4 mm



Gambar 5.22 Pilecap Tipe A



Gambar 5.23 Tampak Atas Pilecap Tipe A

Dimensi :

$$b = 2000 \text{ mm}$$

$$p = 75 \text{ mm}$$

$$h = 1500 \text{ mm}$$

$$d = 1500 - 75 - 25 - \frac{1}{2} \cdot 25 = 1387.5 \text{ mm}$$

$$m = f_y / (0.85 f_c')$$

$$= 400 / (0.85 \times 37.35) = 13.445$$

$$\Phi = 0.8$$

$$D \text{ tiang} = 914,4 \text{ mm tebal } 19 \text{ mm}$$

$$\text{Dia. Tulangan} = 25 \text{ mm}$$

Mutu Beton :

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0.85 - (0.008 \times (35 - 30 \text{ MPa})) = 0.81$$

$$E_b = 4700 \sqrt{f_c'} = 27806 \text{ MPa}$$

Mutu Baja :

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

### Kontrol Geser Ponds

$$P = 327,90 \text{ ton}$$

$$(1 + DLA) \cdot P \cdot 2 < (a + b + 2h) \cdot h \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \phi$$

$$(1 + 0.4) \times (327,90 \times 10^4) \times 2 \leq$$

$$2 (914 + 914 + (2 \times 1500)) 1500 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 0.8$$

$$9181200 \text{ N} < 11425133 \text{ N (OK)}$$



Pilecap kuat menahan gaya geser.

Perhitungan tulangan:

$$\begin{aligned} M_u &= P \times \text{Eksentrisitas} \\ &= 327,9 \text{ ton} \times 0,914 \text{ m} \\ &= 299,7 \text{ ton.m} = 2,99.10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 2,99 \cdot 10^9 / 0.8 \\ &= 3,7 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\ &= 374,63 \times 10^7 / (2000 \times 1387.5^2) \\ &= 0,973 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600+400} = 0.0361 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.036 = 0.0271$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,445} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,973}{400}} \right)$$

$$\rho = 0.0024736$$

maka digunakan  $\rho = 0.0035$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0035 \times 2000 \times 1387.5 \\ &= 9712,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned} s &= (1/4 \times \pi \times d^2 \times b) / A_s \\ &= (1/4 \times 3.14 \times 25^2 \times 2000) / 9712,5 \\ &= 101,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 - 100 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (2000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (2000/100) \\ &= 9812,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y = 9812,5 \times 400 \\ &= 3925000 \text{ N} \end{aligned}$$

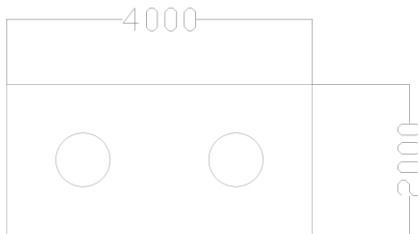
$$\begin{aligned} a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 3925000 / (0.85 \times 35 \times 2000) \\ &= 65,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\ &= 0.8 \times 3925000 \times (1387.5 - 65,97/2) \\ &= 4,25 \times 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 2,99.10^9 \text{ Nmm} \rightarrow \text{OK}$$

### 5.5.2 Penulangan Pilecap Tipe B

Penulangan terhadap Pilecap direncanakan untuk mengatasi eksentrisitas terhadap posisi tiang pancang rencana pada saat pelaksanaan.



Gambar 5.24 Tampak Atas Pilecap Tipe B

Dimensi :

$$\begin{aligned} b_x &= 2000 \text{ mm} \\ b_y &= 4000 \text{ mm} \\ p &= 100 \text{ mm} \\ h &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= f_y / (0.85 f_c') \\
 &= 500 / (0.85 \times 35) = 13,445 \\
 \Phi &= 0.8 \\
 \text{Dia. Tulangan} &= 29 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mutu Beton :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 35 \text{ MPa} \\
 \beta &= 0.85 - (0.008 \times (35 - 30 \text{ MPa})) = 0.81 \\
 E_b &= 4700 \sqrt{f_c'} = 27806 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Mutu Baja :

$$\begin{aligned}
 f_y &= 500 \text{ MPa} \\
 E_s &= 2 \times 10^5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

### Kontrol Geser Ponds

$$\begin{aligned}
 P &= 1166 \text{ ton} \\
 (1 + DLA) \cdot P \cdot 2 &< 2(a + b + 2) h \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \phi \\
 (1 + 0.4) \times (1166 \times 10^4) \times 2 &\leq \\
 2(1422 + 1422 + (2 \times 1500)) 2000 \times 1/6 \times \sqrt{(35)} \times 0.8 \\
 11660000 \text{ N} &< 11757170 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Pilecap kuat menahan gaya geser.

### Perhitungan tulangan arah X:

$$\begin{aligned}
 M_u &= P \times \text{Eksentrisitas} \\
 &= 1166 \text{ ton} \times 0,7112 \text{ m} \\
 &= 8,29 \text{ ton.m} = 8,2 \times 10^9 \text{ Nmm} \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 8,2 \times 10^9 / 0.8 \\
 &= 1,04 \times 10^9 \text{ Nmm} \\
 d_x &= 2000 - 100 - 1/2 \cdot 29 = 1910,5 \text{ mm} \\
 R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\
 &= 1,04 \times 10^9 / (2000 \times 1910,5^2) \\
 &= 1,4 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{500} = 0.0028
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{500} \times \frac{600}{600+500} = 0.0292\end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0292 = 0.0219$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ \rho &= \frac{1}{14,174} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 1,4}{500}} \right) \\ \rho &= 0.00289\end{aligned}$$

maka digunakan  $\rho = 0.0029$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0029 \times 2000 \times 1910,5 \\ &= 11075 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned}s &= (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b) / A_s \\ &= (\frac{1}{4} \times 3.14 \times 29^2 \times 2000) / 11075 \\ &= 119 \text{ mm} = 110\end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 -110 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (2000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 29^2 \cdot (2000/110) \\ &= 12003,36 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned}T &= A_{st} \cdot f_y = 12003 \times 500 \\ &= 6001682 \text{ N} \\ a &= T / (0.85 \times f_c' \times b \times) \\ &= 6001682 / (0.85 \times 35 \times 2000) \\ &= 85,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0.8 \times 6001682 \times (1910,5 - 85,1/2) \\
 &= 8,9 \times 10^9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 8,29 \times 10^9 \text{ Nmm} \rightarrow \text{OK}$$

### **Perhitungan tulangan arah Y:**

$$d_y = 2000 - 100 - 29 - 1/2 \cdot 29 = 1881,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\
 &= 0.731
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{500} = 0.0028$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{500} \times \frac{600}{600 + 500} = 0.0292
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0292 = 0.0219$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{14,174} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 14,174 \times 0.732}{500}} \right)$$

$$\rho = 0.001479$$

maka digunakan  **$\rho_{\min} = 0.0028$**

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.0028 \times 4000 \times 1881,5 \\
 &= 21072,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned}
 s &= (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b) / A_s \\
 &= (\frac{1}{4} \times 3.14 \times 29^2 \times 4000) / 21072,8 \\
 &= 125 \text{ mm} = 110 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 -110 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (4000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (4000/110) \\ &= 24006,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y = 19625 \times 400 \\ &= 1,2 \times 10^7 \text{ N} \\ a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 1,2 \times 10^7 / (0.85 \times 35 \times 4000) \\ &= 85,1 \text{ mm} \\ \Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\ &= 0.8 \times 1,2 \times 10^7 \times (1881 - 85,1 / 2) \\ &= 17,7 \times 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 8,29 \times 10^9 \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Table 5.2. Resume Tulangan Pilecap

TIPE	STEEL PIPE PILE	UKURAN PILE CAP			KONTROL	TULANGAN DIGUNAKAN		KONTROL
	mm	bx	by	h	GESER POND	ARAH X	ARAH Y	$\phi M_n > M_u$
CRANE 1	1422	2000	2000	1500	OK	D25 - 120	D25 - 120	OK
CRANE 2						D25 - 80	D25 - 80	
TEGAK 1,2	1422	2000	2000	1500	OK	D25 - 100	D25 - 100	OK
MIRING 1	1422	2000	4000	2000	OK	D25 - 110	D25 - 110	OK

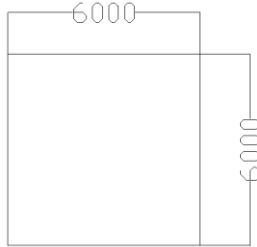
(Sumber : Perhitungan)

## 5.6 Perencanaan Mooring Dolphin

Pada sub ini akan diuraikan penulangan Mooring Dolphin berdasarkan tiang pancang yang digunakan. Dimodelkan menggunakan Tipe plat tebal dengan tebal 1,75 m dengan dimensi arah bx dan by 6 m. n (Tiang) sejumlah 6 SPP (Dia = 1016 t = 19)

### 5.6.1 Penulangan Mooring Dolphin

Penulangan pada mooring dolphin bertujuan untuk menjaga stabilitas struktur dolphin akibat beban – beban yang bekerja pada struktur mooring dolphin yang diakibatkan oleh gaya tambat (mooring force)



Gambar 5.25 Tampak Atas Mooring Dolphin

Dimensi :

$$b_x, b_y = 6000 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$h = 1750 \text{ mm}$$

$$d = 1750 - 100 - 25 - \frac{1}{2} \cdot 25 = 1612,5 \text{ mm}$$

$$m = f_y / (0.85 f_c')$$

$$= 400 / (0.85 \times 35) = 13.445$$

$$\Phi = 0.8 \text{ (faktor reduksi)}$$

$$D \text{ tiang} = 1016 \text{ mm tebal } 16 \text{ mm}$$

$$\text{Dia. Tulangan} = 25 \text{ mm}$$

Mutu Beton :

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0.85 - (0.008 \times (35 - 30 \text{ MPa})) = 0.81$$

$$E_b = 4700 \sqrt{f_c'} = 27806 \text{ MPa}$$

Mutu Baja :

$$f_y = 500 \text{ MPa}$$

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

**Kontrol Geser Ponds**

$$P = 753,99 \text{ ton}$$

$$P < (a + b + 2h) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \phi$$

$$(753,99 \times 10^4) \leq$$

$$(1117,6 + 1117,6 + (2 \times 1750)) \cdot 1750 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{35} \times 0.8$$

$$15079800 \text{ N} < 15833953,69 \text{ N (OK)}$$

Pilecap kuat menahan gaya geser.

**ARAH Y**

$$\text{Reaksi Tiang 1} = 333,6 \text{ Ton}$$

$$\text{Reaksi Tiang 2} = 306,7 \text{ Ton}$$

$$\text{Reaksi Tiang 3} = 753 \text{ Ton}$$

Perhitungan tulangan:

$$M_u = (R_1 \times 2m) + (R_2 \times 2m) + (R_2 \times 2m) \times 1,75$$

$$= 4880,02 \text{ ton-m}$$

$$= 4,8 \cdot 10^{10} \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_u / \phi$$

$$= 4,8 \cdot 10^{10} / 0.8$$

$$= 6100 \text{ ton-m}$$

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2)$$

$$= 6100 \text{ ton-m} / (6000 \times 1606,5^2)$$

$$= 0,424$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{500} = 0.0028$$

$$\rho_b = 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{500} \times \frac{600}{600 + 500} = 0.0263$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0263 = 0.0197$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{16,807} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,807 \times 3,939}{400}} \right)$$

$$\rho = 0.008483$$

maka digunakan  $\rho = 0.008483$



$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.008485 \times 6000 \times 1612,5 \\
 &= 81771,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned}
 s &= (1/4 \times \pi \times d^2 \times b) / A_s \\
 &= (1/4 \times 3.14 \times 25^2 \times 6000) / 81771,08 \\
 &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **29 - 45 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (6000/s) \\
 &= 3.14 / 4 \cdot 29^2 \cdot (6000/45) \\
 &= 88024,67 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned}
 T &= A_{st} \cdot f_y = 36796,88 \times 500 \\
 &= 4,4 \times 10^7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\
 &= 4,4 \times 10^7 / (0.85 \times 35 \times 6000) \\
 &= 246,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\
 &= 0.8 \times 4,4 \times 10^7 \times (1606.5 - 246,6 / 2) \\
 &= 5,2 \times 10^{10} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 4,8.10^{10} \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

**ARAH X**

$$\text{Reaksi Tiang 1} = 299,4 \text{ Ton}$$

$$\text{Reaksi Tiang 2} = 753 \text{ Ton}$$

$$\text{Reaksi Tiang 3} = 175,4 \text{ Ton}$$

Perhitungan tulangan:

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= (R1 \times 2m) + (R2 \times 2m) + (R2 \times 2m) \times 1,75 \\ &= 4300,7 \text{ ton-m} \\ &= 4,3 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn} &= \text{Mu} / \phi \\ &= 4,3 \cdot 10^{10} / 0.8 \\ &= 5375 \text{ ton-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rn} &= \text{Mn} / (b \cdot d^2) \\ &= 5375 \text{ ton-m} / (6000 \times 1606,5^2) \\ &= 3,472 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{500} = 0.0028$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{500} \times \frac{600}{600 + 500} = 0.0263 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0263 = 0.0197$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{16,807} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,807 \times 3,472}{400}} \right)$$

$$\rho = 0.007404$$

maka digunakan  **$\rho = 0.007404$**

$$\begin{aligned} \text{As} &= \rho \times b \times d \\ &= 0.007404 \times 6000 \times 1612,5 \\ &= 71368,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned} s &= (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b) / \text{As} \\ &= (\frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \times 6000) / 71368,02 \\ &= 55,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **29 - 55 mm**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned} A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (6000/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 29^2 \cdot (6000/55) \\ &= 72020,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned} T &= A_{st} \cdot f_y = 72020,18 \times 500 \\ &= 3,6 \times 10^7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 3,6 \times 10^7 / (0.85 \times 35 \times 6000) \\ &= 201,74 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\ &= 0.8 \times 3,6 \times 10^7 \times (1606.5 - 201,74 / 2) \\ &= 4,330 \times 10^{10} \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 4,337.10^{10} \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$

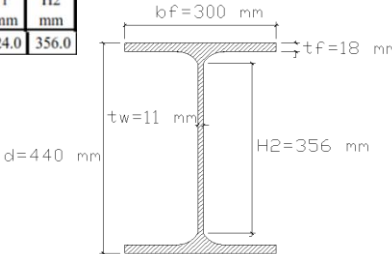
5.7 Perencanaan Cat Walk

Pada sub ini akan diuraikan perencanaan dan penulangan Cat walk yang digunakan. Dengan data berikut:

Menggunakan Baja WF :  
Memanjang 440.300.11.18  
BJ 50 (fy 290 MPa, fu 500 MPa)

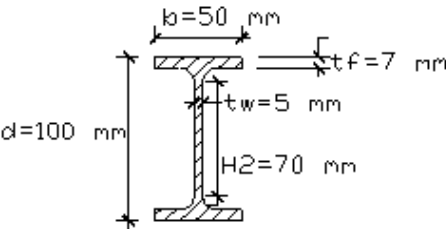
Table 5.3. Baja WF

Sectional Dimension											
		d	x	bf	tw	tf	r	H2			
		mm		mm	mm	mm	mm	mm			
WF		440	x	300	11.0	18.0	24.0	356.0			



Sectional Properties											
Sec.of Area	Unit Weight	Geometrical Moment of Inertia (cm4)		Radius of Gyration of Area (cm)		Elastic Modulus of Section (cm3)		Plastic Modulus of Section (cm3)		Compact Section Criteria	
		Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy	bf/2tf	h/tw
157.40	123.56	56100	8110	18.88	7.18	2550	541	2728	822	8.33	32.36

Melintang 100.50.5.7  
BJ 37 (fy 240 MPa, fu 370 MPa)



### 5.7.1 Pembebanan

#### A. Beban Mati/Berat Sendiri Tambahan

-Grating  $= 500 \text{ Kg/m}$

-Railing  $= 50 \text{ Kg/m}$

-Baja WF 440.300.11.18

$= \text{Perhitungan Otomatis Sap2000}$

-Baja WF 440.300.11.18

$= \text{Perhitungan Otomatis Sap2000}$

#### B. Beban Hidup

Beban Hidup manusia  $= 100 \text{ Kg/m}$

### 5.7.2 Kontrol Penampang

#### A. Badan

$$h = d - 2 \times (tf + r)$$

$$= 440 - 2 \times (18 + 24)$$

$$= 356 \text{ mm}$$

$$h = \frac{h}{tw} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$= \frac{356}{11} \leq \frac{1680}{\sqrt{290}}$$

$$= 32,36 \leq 98,65 \text{ (OK)}$$

#### B. Sayap

$$= \frac{bf}{2 \times tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$= \frac{300}{36} \leq \frac{170}{\sqrt{290}}$$

$$= 8,3 \leq 9,98 \text{ (OK)}$$

### 5.7.3 Kontrol Tekuk Lateral

$$Mu = 5,5 \times 10^8 \text{ N.mm (Output sap200)}$$

$$Zx = 2728 \text{ cm}^3 = 2728 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$Mp = Zx \times fy$$

$$= 2728 \times 10^3 \text{ mm}^3 \times 240 \text{ N/mm}^2$$

$$= 7,9 \times 10^8 \text{ N.mm}$$

$$\phi \times Mp = 0,9 \times 7,9 \times 10^8 \text{ N.mm}$$

$$= 7,12 \times 10^8 \text{ N.mm}$$

$$\phi \times Mp \geq Mu (5,5 \times 10^8 \text{ N.mm}) \text{ (OK)}$$

### 5.7.4 Kontrol Lendutan Terjadi

Lendutan Ijin ( $\delta$  ijin)

(Sesuai dengan SNI 03-1729-2002 pasal 6.4.3)

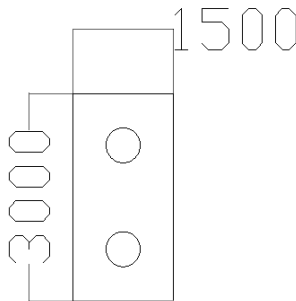
$$\frac{L}{360} \geq \text{Lendutan Terjadi (Sap2000)}$$

$$\frac{1830 \text{ cm}}{360} \geq 3,811 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ ijin} = 5,03 \text{ cm} \geq 3,811 \text{ (OK)}$$

### 5.7.5 Penulangan Pilecap Cat Walk

Penulangan pada catwalk ini pada Pilecap (tumpuan tengah bentang) dimodelkan plat tebal dengan tebal 1 m dan di tempati 2 tiang pancang Diameter 508 mm tebal 14 mm



Gambar 5.26 Tampak Atas Pilecap Catwalk

Dimensi :

$$b_x = 1500 \text{ mm}$$

$$b_y = 3000 \text{ mm}$$

$$p = 100 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 1000 - 100 - 25 - \frac{1}{2} \cdot 25 = 887,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 m &= f_y / (0.85 f_c') \\
 &= 400 / (0.85 \times 35) = 13.445 \\
 \Phi &= 0.8 \text{ (faktor reduksi)} \\
 D \text{ tiang} &= 508 \text{ mm tebal } 14 \text{ mm} \\
 \text{Dia. Tulangan} &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mutu Beton :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 35 \text{ MPa} \\
 \beta &= 0.85 - (0.008 \times (35 - 30 \text{ MPa})) = 0.81 \\
 E_b &= 4700 \sqrt{f_c'} = 27806 \text{ MPa} \\
 \text{Mutu Baja :} \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} \\
 E_s &= 2 \times 10^5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

### Kontrol Geser Ponds

$$\begin{aligned}
 P &= 78,6 \text{ ton} \\
 (1+DLA). P \cdot 2 &< 2 (a + b + 2h) \cdot h \cdot 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \phi \\
 (1+0.4) \times (78,6 \times 10^4) \times 2 &\leq \\
 2 (508+508+(2 \times 1000)) 15000 \times 1/6 \times \sqrt{35} \times 0.8 \\
 2200800 \text{ N} &< 4758106 \text{ N (OK)} \\
 \text{Pilecap kuat menahan gaya geser.}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan:

$$\begin{aligned}
 M_u &= P \times \text{Eksentrisitas} \\
 &= 78,6 \text{ ton} \times 0,508 \text{ m} \\
 &= 39,93 \text{ ton.m} = 3,99 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \\
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= 3,99 \cdot 10^8 / 0.8 \\
 &= 49,91 \text{ ton-m}
 \end{aligned}$$

### Arah X : Tulangan Dipakai D-25

$$\begin{aligned}
 R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\
 &= 49,91 \times 10^7 / (1500 \times 887,5^2) \\
 &= 0,422 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600+400} = 0.0361\end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.0361 = 0.0271$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{13,445} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,422}{400}} \right)$$

$$\rho = 0.00106$$

maka digunakan  $\rho = 0.0035$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.0035 \times 1500 \times 887,5 \\ &= 4659,38 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned}s &= \left( \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b \right) / A_s \\ &= \left( \frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \times 1500 \right) / 4659,38 \\ &= 157,95\end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 - 150mm**

**Untuk Arah X**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (1500/s) \\ &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (1500/150) \\ &= 4906,25 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$\begin{aligned}T &= A_{st} \cdot f_y = 4906,25 \times 400 \\ &= 0,19 \times 10^7 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= T / (0.85 \times f_c' \times b) \\ &= 0,19 \times 10^7 / (0.85 \times 35 \times 1500) \\ &= 43,98 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi M_n &= \phi \times T \times (d - a/2) \\ &= 0.8 \times 0,19 \times 10^7 \times (887,5 - 43,98 / 2) \\ &= 1,359 \times 10^9 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\Phi M_n > M_u = 3,99.10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \mathbf{OK}$$



**Arah Y : Tulangan Dipakai D-25**

$$\begin{aligned}
 R_n &= M_n / (b \cdot d^2) \\
 &= 49,91 \times 10^7 / (3000 \times 862,5^2) \\
 &= 0,2236
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= 0.85 \times \beta \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0.85 \times 0.81 \times \frac{35}{400} \times \frac{600}{600+400} = 0.0361
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0,036 = 0.0271$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{13,445} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,2236}{400}} \right) \\
 \rho &= 0.000561
 \end{aligned}$$

maka digunakan  $\rho = 0.0035$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0.0035 \times 3000 \times 862,5 \\
 &= 9056,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak terjauh (maksimum) antar tulangan ialah:

$$\begin{aligned}
 s &= (\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b) / A_s \\
 &= (\frac{1}{4} \times 3.14 \times 25^2 \times 3000) / 9056,25 \\
 &= 162
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan diameter **25 - 150mm**

**Untuk Arah Y**

Tulangan terpasang:

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \pi / 4 \cdot D^2 \cdot (1500/s) \\
 &= 3.14 / 4 \cdot 25^2 \cdot (3000/150) \\
 &= 9812,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek Kemampuan Nominal

$$T = A_{st} \cdot f_y = 9812,5 \times 400 \\ = 0,39 \times 10^7 \text{ N}$$

$$a = T / (0,85 \times f_c' \times b) \\ = 0,39 \times 10^7 / (0,85 \times 35 \times 1500) \\ = 43,98 \text{ mm}$$

$$\Phi M_n = \phi \times T \times (d - a/2) \\ = 0,8 \times 0,39 \times 10^7 \times (862,5 - 43,98 / 2) \\ = 2,64 \times 10^9 \text{ Nmm}$$

$$\Phi M_n > M_u = 3,99.10^8 \text{ Nmm} \rightarrow \text{OK}$$

## 5.8 Perhitungan Panjang Penyaluran ke Struktur Atas dan Base Plate Dermaga

### A. Tiang Pancang Ø1422 mm tebal 22 mm

Data Perencanaan:

$$D_{\text{tiang}} = 1422 \text{ mm}$$

$$D_{\text{dalam tiang}} = 1378 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal} = 22 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,7$$

$$f_c' = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$P_{\text{kerja}} = 191 \text{ ton}$$

#### a) Kontrol kekuatan beton dalam tiang

$$P_{\text{beton dalam tiang}} \geq P_{\text{kerja}}$$

$$P_{\text{beton dalam tiang}} = A_{\text{beton}} \times 0,85 \times \phi \times f_c' \\ = 1/4(3,14)(1378^2) \times 0,85 \times 0,7 \times 35 \\ = 3104,224 \text{ ton} > 191 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

#### b) Kontrol retak Pile cap

$$V_c = 1/6 \sqrt{f_c'} b \cdot d \\ = 1/6 \sqrt{35} 2000 \cdot 1387,5 \\ = 308 \text{ ton}$$

$$P_{\text{kerja}} < 2 \cdot \phi \cdot V_c$$

$$191 < 2 \times 0,7 \times 308$$

$$191 < 430 \text{ ton} \quad (\text{OK}) \text{ beton tidak retak.}$$

## c) Kontrol kekuatan las

Direncanakan menggunakan las E 60 XX

Tegangan ijin tarik las ( $\sigma_e$ ) = 460 Mpa

Direncanakan tebal las tebal 5 mm

Maka kekuatan las

$$= (\text{keliling las} \times \text{tebal las}) \times \sigma_e$$

$$= (3.14 \times 1378 \times 5) 460$$

$$= 9951916 \text{ ton}$$

995 Ton > 191 Ton ....**OK** (las kuat sekali)

## d) Tulangan dari tiang ke struktur atas

$$A_s \text{ perlu} \cdot f_{y\text{tulangan}} \geq P / \phi$$

$$A_s \text{ perlu} \cdot \geq P / (\phi \times f_{y\text{tulangan}})$$

$$A_s \text{ perlu} \cdot = \frac{191 \times 10^4}{0.7 \times 400}$$

$$A_s \text{ perlu} \cdot = 6821,43 \text{ mm}^2$$

**Dipasang 24 D25 (11775 mm<sup>2</sup>)**

**Sengkang spiral Ø12 – 200 mm**

## e) Panjang penyaluran

Nilai yang diperhitungkan untuk panjang penyaluran dalam tekan yaitu dihitung sesuai persamaan berikut:

$$l_{db} = d_b \cdot \frac{f_y}{(4\sqrt{f'_c})}$$

$$l_{db} = 25 \cdot \frac{400}{(4\sqrt{35})} = 422,57 \text{ mm} = 420 \text{ mm}$$

Dan tidak boleh kurang dari :

$$0,04 \cdot d_b \cdot f_y = 0,04 \cdot 25 \cdot 400 = 400 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran dasar harus dikalikan dengan faktor yang berlaku untuk luas tulangan terpasang lebih besar dari luas tulangan yang diperlukan.

Faktor modifikasi

$$= A_s \text{ perlu} / A_s \text{ terpasang}$$

$$= 0,57$$

Sehingga panjang penyaluran total adalah

$$L_{db} \cdot \text{Faktor modifikasi} = 422,57 \times 0,57$$

$$= 244,80 \text{ mm}$$

Dipakai panjang penyaluran sebesar 1000 mm.  
(minimal setengah lebih dari tebal pilecap)

Panjang penyaluran dasar tulangan dalam kondisi tarik dihitung menurut SNI 2847-03-2002 pasal 14.2 :

$$l_d = \frac{3 \cdot f_y \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \lambda}{5 \sqrt{f_c}} \cdot d_b$$

$$\alpha = 1$$

$$\beta = 1$$

$$\lambda = 1$$

maka panjang penyaluran dasar tulangan adalah:

$$l_d = \frac{3 \cdot 400 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{5 \sqrt{35}} \cdot 25$$

$$= 1014,185 \text{ mm}$$

dipakai panjang berkas 1500 mm.

f) Base Plate

Base plate digunakan sebagai penahan beton segar saat pengisian beton isian tiang. Base plate direncanakan menggunakan plat baja dengan tebal 10 mm.

Sedangkan untuk menahan base plate digunakan tulangan pengait yang menahan base plate pada tiang pancang.

Berat yang dipikul oleh base plate :

$$P = A \text{ dalam tiang} \times (t_p \cdot B_{j \text{ baja}} + B_{j \text{ beton}} \cdot L)$$

$$P = 1,4906 \times (0,01 \times 7850 + 2400 \times 2)$$

$$= 7,272 \text{ Ton}$$

- Perhitungan pengait base plat

$$A = \frac{P}{\sigma} = \frac{7,272 \times 10^4}{1600} = 454,501 \text{ mm}^2$$

Digunakan 8 buah pengait

$$A \text{ tiap pengait} = \frac{454,501}{8} = 56,81 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{8 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{8 \times 41,37}{3.14}} = 12,031 \text{ mm}$$

Dipasang pengait 8  $\phi 10$ mm

As 628 > 454 mm<sup>2</sup> **OK**

Table 5.4. Resume Panjang Penyaluran

NO	Diameter	Posisi/jenis	Tulangan	Sengkang	Panjang Penyaluran	Pengait
	Tiang	Tiang	Dipakai	Spiral	diambil min	Base Plate
1	1422 mm	Crane 1/Dermaga	24-D25	$\phi 12$ -200	850 mm	8- $\phi 10$
2		Crane 2/Dermaga				
3	1422 mm	Tegak 1/Dermaga	22-D25	$\phi 12$ -200	850 mm	8- $\phi 10$
4		Tegak 2/Dermaga				
5	1422 mm	Miring /Dermaga	30-D29	$\phi 12$ -200	1250 mm	8- $\phi 10$
7	1016	Miring/M.Dolphin	18-D25	$\phi 12$ -200	850 mm	4- $\phi 10$
8	508 mm	Tegak/Cat Walk	8-D19			4- $\phi 10$

(Sumber : Perhitungan)

## 5.9 Perhitungan Daya Dukung Struktur Bawah

### 5.9.1 Daya Dukung Batas Pondasi Dermaga

Daya dukung batas atas atau daya dukung ijin pondasi dianalisa berdasarkan 2 kondisi yaitu daya dukung batas atas akibat beban vertikal dan daya dukung batas akibat beban horisontal.

### Tiang Diameter 1422 mm

Diameter tiang = 1,422 m

Teg. leleh baja BJ55 ( $\sigma$ ) = 4100 kg/cm<sup>2</sup>

Teg. Aksial ijin = 2733 kg/cm<sup>2</sup>

Luas permukaan ujung =  $\frac{1}{4} \pi 1,422^2$   
= 1,5882 m<sup>2</sup>

DD ujung tiang ( $Q_p$ ) = 1016 ton (tekan)

DD selimut tiang ( $Q_s$ ) = 915 (tarik)

DD ultimate tiang ( $Q_u$ ) =  $Q_p + Q_s$   
= 1931 ton

$Q_{ijin} = Q_u / SF$

= 1931 / 2,5

= 772 ton

Untuk perhitungan daya dukung tiang selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 5.5. Kapasitas Tiang Diameter 1219 mm  
Berdasarkan Data SPT**

Depth (m)	Soil Type	Li (m)	Soil Parameter				Li x Fi (tm)	$\Sigma$ Li x Fi (tm)	Diameter :		1,4224 m	
			N (blows/ft)	qd (tm <sup>2</sup> )		Fi (tm <sup>2</sup> )			Qp (ton)	Qs (ton)	Qu <sub>ult</sub> (ton)	Q <sub>ijin</sub> (ton)
-1,00	P	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
-1,50	P	0,5	4	160	0,80	0,8	0,4	0,4	254,12	1,79	255,90	102,36
-2,00	P	0,5	8	320	1,60	1,6	0,8	1,2	508,23	5,36	513,59	205,44
-2,50	P	0,5	12	480	2,40	2,4	1,2	2,4	762,35	10,72	773,07	309,23
-3,00	P	0,5	12,25	490	2,45	2,45	1,225	3,625	778,23	16,19	794,42	317,77
-3,50	P	0,5	12,5	500	2,50	2,5	1,25	4,875	794,11	21,77	815,89	326,36
-4,00	P	0,5	12,75	510	2,55	2,55	1,275	6,15	810,00	27,47	837,46	334,99
-4,50	P	0,5	13	520	2,60	2,6	1,3	7,45	825,88	33,27	859,15	343,66
-5,00	P	0,5	18,5	740	3,70	3,7	1,85	9,3	1175,29	41,54	1216,83	486,73
-5,50	P	0,5	24	960	4,80	4,8	2,4	11,7	1524,70	52,26	1576,96	630,78
-6,00	P	0,5	29,5	1180	5,90	5,9	2,95	14,65	1874,11	65,43	1939,54	775,82

-6,50	P	0,5	35	1400	7,00	7	3,5	18,15	2223,52	81,06	2304,58	921,83
-7,00	P	0,5	37,25	1490	7,45	7,45	3,725	21,875	2366,46	97,70	2464,16	985,66
-7,50	P	0,5	39,5	1580	7,90	7,9	3,95	25,825	2509,40	115,34	2624,75	1049,90
-8,00	P	0,5	41,75	1670	8,35	8,35	4,175	30	2652,34	133,99	2786,33	1114,53
-8,50	P	0,5	44	1760	8,80	8,8	4,4	34,4	2795,28	153,64	2948,93	1179,57
-9,00	P	0,5	45,5	1820	9,10	9,1	4,55	38,95	2890,58	173,96	3064,54	1225,82
-9,50	P	0,5	47	1880	9,40	9,4	4,7	43,65	2985,87	194,96	3180,83	1272,33
-10,00	P	0,5	48,5	1940	9,70	9,7	4,85	48,5	3081,16	216,62	3297,78	1319,11
-10,50	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	53,5	3176,46	238,95	3415,41	1366,16
-11,00	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	58,5	3176,46	261,28	3437,74	1375,10
-11,50	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	63,5	3176,46	283,61	3460,07	1384,03
-12,00	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	68,5	3176,46	305,94	3482,40	1392,96
-12,50	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	73,5	3176,46	328,28	3504,73	1401,89
-13,00	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	78,5	3176,46	350,61	3527,07	1410,83
-13,50	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	83,5	3176,46	372,94	3549,40	1419,76
-14,00	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	88,5	3176,46	395,27	3571,73	1428,69
-14,50	P	0,5	50	2000	10,00	10	5	93,5	3176,46	417,60	3594,06	1437,62
-15,00	P	0,5	43,25	1730	8,65	8,65	4,325	97,825	2747,64	436,92	3184,56	1273,82
-15,50	P	0,5	36,5	1460	7,30	7,3	3,65	101,475	2318,81	453,22	2772,04	1108,81
-16,00	P	0,5	29,75	1190	5,95	5,95	2,975	104,45	1889,99	466,51	2356,50	942,60
-16,50	P	0,5	23	920	4,60	4,6	2,3	106,75	1461,17	476,78	1937,95	775,18
-17,00	P	0,5	23,5	940	4,70	4,7	2,35	109,1	1492,94	487,28	1980,21	792,09
-17,50	P	0,5	24	960	4,80	4,8	2,4	111,5	1524,70	498,00	2022,70	809,08
-18,00	P	0,5	24,5	980	4,90	4,9	2,45	113,95	1556,46	508,94	2065,40	826,16
-18,50	P	0,5	25	1000	5,00	5	2,5	116,45	1588,23	520,10	2108,33	843,33
-19,00	P	0,5	25,5	1020	5,10	5,1	2,55	119	1619,99	531,49	2151,49	860,60
-19,50	P	0,5	26	1040	5,20	5,2	2,6	121,6	1651,76	543,11	2194,86	877,95
-20,00	P	0,5	26,5	1060	5,30	5,3	2,65	124,25	1683,52	554,94	2238,47	895,39
-20,50	P	0,5	27	1080	5,40	5,4	2,7	126,95	1715,29	567,00	2282,29	912,92
-21,00	P	0,5	26,5	1060	5,30	5,3	2,65	129,6	1683,52	578,84	2262,36	904,94
-21,50	P	0,5	26	1040	5,20	5,2	2,6	132,2	1651,76	590,45	2242,21	896,88
-22,00	P	0,5	25,5	1020	5,10	5,1	2,55	134,75	1619,99	601,84	2221,83	888,73
-22,50	P	0,5	25	1000	5,00	5	2,5	137,25	1588,23	613,00	2201,23	880,49
-23,00	P	0,5	24	960	4,80	4,8	2,4	139,65	1524,70	623,72	2148,42	859,37
-23,50	P	0,5	23	920	4,60	4,6	2,3	141,95	1461,17	634,00	2095,17	838,07
-24,00	P	0,5	22	880	4,40	4,4	2,2	144,15	1397,64	643,82	2041,46	816,59
-24,50	P	0,5	21	840	4,20	4,2	2,1	146,25	1334,11	653,20	1987,31	794,93
-25,00	P	0,5	22,5	900	4,50	4,5	2,25	148,5	1429,41	663,25	2092,66	837,06
-25,50	P	0,5	24	960	4,80	4,8	2,4	150,9	1524,70	673,97	2198,67	879,47
-26,00	L	0,5	25,5	510	25,50	12	6	156,9	810,00	700,77	1510,76	604,31
-26,50	L	0,5	27	540	27,00	12	6	162,9	857,64	727,57	1585,21	634,08
-27,00	L	0,5	27,5	550	27,50	12	6	168,9	873,53	754,36	1627,89	651,16
-27,50	L	0,5	28	560	28,00	12	6	174,9	889,41	781,16	1670,57	668,23
-28,00	L	0,5	28,5	570	28,50	12	6	180,9	905,29	807,96	1713,25	685,30
-28,50	L	0,5	29	580	29,00	12	6	186,9	921,17	834,76	1755,93	702,37
-29,00	L	0,5	30	600	30,00	12	6	192,9	952,94	861,56	1814,49	725,80
-29,50	L	0,5	31	620	31,00	12	6	198,9	984,70	888,35	1873,06	749,22
-30,00	L	0,5	32	640	32,00	12	6	204,9	1016,47	915,15	1931,62	772,65
-30,50	L	0,5	33	660	33,00	12	6	210,9	1048,23	941,95	1990,18	796,07
-31,00	L	0,5	34,25	685	34,25	12	6	216,9	1087,94	968,75	2056,69	822,67
-31,50	L	0,5	35,5	710	35,50	12	6	222,9	1127,64	995,55	2123,19	849,28
-32,00	L	0,5	36,75	735	36,75	12	6	228,9	1167,35	1022,34	2189,69	875,88

-32,50	L	0,5	38	760	38,00	12	6	234,9	1207,05	1049,14	2256,20	902,48
-33,00	L	0,5	38,25	765	38,25	12	6	240,9	1215,00	1075,94	2290,94	916,37
-33,50	L	0,5	38,5	770	38,50	12	6	246,9	1222,94	1102,74	2325,67	930,27
-34,00	L	0,5	38,75	775	38,75	12	6	252,9	1230,88	1129,54	2360,41	944,17
-34,50	L	0,5	39	780	39,00	12	6	258,9	1238,82	1156,33	2395,15	958,06
-35,00	L	0,5	37,75	755	37,75	12	6	264,9	1199,11	1183,13	2382,25	952,90
-35,50	L	0,5	36,5	730	36,50	12	6	270,9	1159,41	1209,93	2369,34	947,74
-36,00	L	0,5	35,25	705	35,25	12	6	276,9	1119,70	1236,73	2356,43	942,57
-36,50	L	0,5	34	680	34,00	12	6	282,9	1080,00	1263,53	2343,52	937,41
-37,00	L	0,5	34,75	695	34,75	12	6	288,9	1103,82	1290,32	2394,14	957,66
-37,50	L	0,5	35,5	710	35,50	12	6	294,9	1127,64	1317,12	2444,77	977,91
-38,00	L	0,5	36,25	725	36,25	12	6	300,9	1151,47	1343,92	2495,39	998,15
-38,50	L	0,5	37	740	37,00	12	6	306,9	1175,29	1370,72	2546,01	1018,40
-39,00	L	0,5	38	760	38,00	12	6	312,9	1207,05	1397,52	2604,57	1041,83
-39,50	L	0,5	39	780	39,00	12	6	318,9	1238,82	1424,31	2663,13	1065,25
-40,00	L	0,5	40	800	40,00	12	6	324,9	1270,58	1451,11	2721,70	1088,68
-40,50	L	0,5	41	820	41,00	12	6	330,9	1302,35	1477,91	2780,26	1112,10
-41,00	L	0,5	41	820	41,00	12	6	336,9	1302,35	1504,71	2807,06	1122,82
-41,50	L	0,5	41	820	41,00	12	6	342,9	1302,35	1531,51	2833,85	1133,54
-42,00	L	0,5	41	820	41,00	12	6	348,9	1302,35	1558,30	2860,65	1144,26
-42,50	L	0,5	41	820	41,00	12	6	354,9	1302,35	1585,10	2887,45	1154,98
-43,00	L	0,5	41,75	835	41,75	12	6	360,9	1326,17	1611,90	2938,07	1175,23
-43,50	L	0,5	42,5	850	42,50	12	6	366,9	1349,99	1638,70	2988,69	1195,48
-44,00	L	0,5	43,25	865	43,25	12	6	372,9	1373,82	1665,50	3039,31	1215,73
-44,50	L	0,5	44	880	44,00	12	6	378,9	1397,64	1692,29	3089,94	1235,97
-45,00	L	0,5	44,25	885	44,25	12	6	384,9	1405,58	1719,09	3124,68	1249,87
-45,50	L	0,5	44,5	890	44,50	12	6	390,9	1413,52	1745,89	3159,41	1263,77
-46,00	L	0,5	44,75	895	44,75	12	6	396,9	1421,47	1772,69	3194,15	1277,66
-46,50	L	0,5	45	900	45,00	12	6	402,9	1429,41	1799,49	3228,89	1291,56
-47,00	L	0,5	44,25	885	44,25	12	6	408,9	1405,58	1826,28	3231,87	1292,75
-47,50	L	0,5	43,5	870	43,50	12	6	414,9	1381,76	1853,08	3234,84	1293,94
-48,00	L	0,5	42,75	855	42,75	12	6	420,9	1357,94	1879,88	3237,82	1295,13
-48,50	L	0,5	42	840	42,00	12	6	426,9	1334,11	1906,68	3240,79	1296,32
-49,00	L	0,5	42	840	42,00	12	6	432,9	1334,11	1933,48	3267,59	1307,04
-49,50	L	0,5	42	840	42,00	12	6	438,9	1334,11	1960,27	3294,39	1317,75
-50,00	L	0,5	42	840	42,00	12	6	444,9	1334,11	1987,07	3321,19	1328,47
-50,50	L	0,5	42	840	42,00	12	6	450,9	1334,11	2013,87	3347,98	1339,19
-51,00	L	0,5	41,5	830	41,50	12	6	456,9	1318,23	2040,67	3358,90	1343,56
-51,50	L	0,5	41	820	41,00	12	6	462,9	1302,35	2067,47	3369,81	1347,93
-52,00	L	0,5	40,5	810	40,50	12	6	468,9	1286,47	2094,26	3380,73	1352,29
-52,50	L	0,5	40	800	40,00	12	6	474,9	1270,58	2121,06	3391,65	1356,66
-53,00	L	0,5	39,25	785	39,25	12	6	480,9	1246,76	2147,86	3394,62	1357,85
-53,50	L	0,5	38,5	770	38,50	12	6	486,9	1222,94	2174,66	3397,60	1359,04
-54,00	L	0,5	37,75	755	37,75	12	6	492,9	1199,11	2201,46	3400,57	1360,23
-54,50	L	0,5	37	740	37,00	12	6	498,9	1175,29	2228,26	3403,54	1361,42
-55,00	L	0,5	38,25	765	38,25	12	6	504,9	1215,00	2255,05	3470,05	1388,02
-55,50	L	0,5	39,5	790	39,50	12	6	510,9	1254,70	2281,85	3536,55	1414,62

(Sumber : Perhitungan)



$$\begin{aligned}
 P_{\text{aktual}} &= -316,70 \text{ ton} \\
 DL+LL+0,3GX+1GY+M-SLK+M-SDK \\
 P_{\text{aktual}} &< Q_{\text{ijin}} = 772,65 \text{ ton} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- **Modulus Section Tiang Baja**

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\pi (D^4 - (D - 2t)^4)}{32 \times D} = \frac{3.14 \times (142,2^4 - (142,2 - 4,4)^4)}{32 \times 142,2} \\
 &= 33353 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

- **Momen Ultimate pada Tiang**

$$\begin{aligned}
 M_u &= \sigma \times W \\
 &= 4100 \times 33353 \\
 &= 1,37 \times 10^8 \text{ kg-cm} \\
 &= 1367,47 \text{ ton-m} > M_{\text{aktual}} = 736 \text{ tm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- **Daya Dukung Horizontal Tiang**

Daya dukung horizontal dihitung berdasarkan beban pergeseran normal yang diijinkan pada kepala tiang, yaitu pergeseran paling maksimum pada ujung tiang. Bila besarnya pergeseran normal sudah ditetapkan, maka daya dukung mendatar yang diijinkan dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$H_a = \frac{k_h \times D}{\beta} \times \delta a$$

Dimana :

$$k_h = 0.15N = 0.15 \times 4 = 0,6 \text{ kg/cm}^3$$

$$\delta a = 1 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= \sqrt{\frac{k_h \cdot D}{4 E I}} = \sqrt{\frac{0,6 \times 121,9}{4 \times 2100000 \times 1289624}} \\
 &= 0.00144
 \end{aligned}$$

$$1/\beta = 620,34 \text{ cm}$$

Sehingga, Daya Dukung Horizontal Tiang:

$$H_a = \frac{0,6 \times 142,2}{0.001438606} \times 1 = 59,324 \text{ ton}$$

- **Kontrol terhadap Kekuatan Bahan**

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

$$\sigma = \frac{772 \times 10^3}{15882,29} \pm \frac{73680000,00}{33353}$$

$$\sigma = 2257,749 < 2733 \text{ kg/cm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

$$\sigma = -2160,45 < 2733 \text{ kg/cm}^2 \quad \mathbf{OK}$$

- **Kontrol terhadap Tekuk**

$$P_{cr} = \frac{\pi \times E \times I}{(e + Zf)^2}$$

$$P_{cr} = \frac{3.14 \times 2100000 \times 2372060,81}{(1675 + 695,1)^2}$$

$P_{cr}$  harus lebih besar dari gaya aksial tekan aktual struktur.

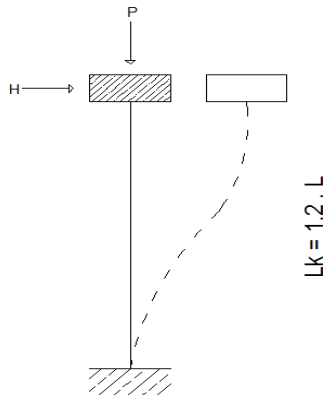
$$P_{cr} = 2784,42 \text{ ton} > 486 \text{ ton} \quad \mathbf{OK}$$

- **Kontrol Kelangsingan**

$$L_k = 1,2L \rightarrow L = (e + Zf)$$

$$= 1,2 (23,701)$$

$$L_k = 28,441 \text{ m}$$



Gambar 5.27. Asumsi Panjang Tekuk Tiang

$$\begin{aligned}
 i &= \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{2372060,81}{967,40}} \\
 &= 49,518 \text{ cm} \\
 &= 0.495 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{L_k}{i} = \frac{28,441}{0.495} = 57,44$$

Angka kelangsingan batas ( $\lambda_g$ ) dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 \lambda_g &= \sqrt{\frac{E}{0.7 \times f_c'}} \times \pi \\
 \lambda_g &= \sqrt{\frac{2100000}{0.7 \times 35}} \times 3.14 \\
 &= 290,71 > \lambda = 57,44 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

$$\lambda_s = \lambda / \lambda_g = 0.2 \text{ kolom sedang}$$

Dengan nilai  $0.183 < \lambda_s < 1$ , maka nilai  $\omega$  dihitung sebagai berikut:

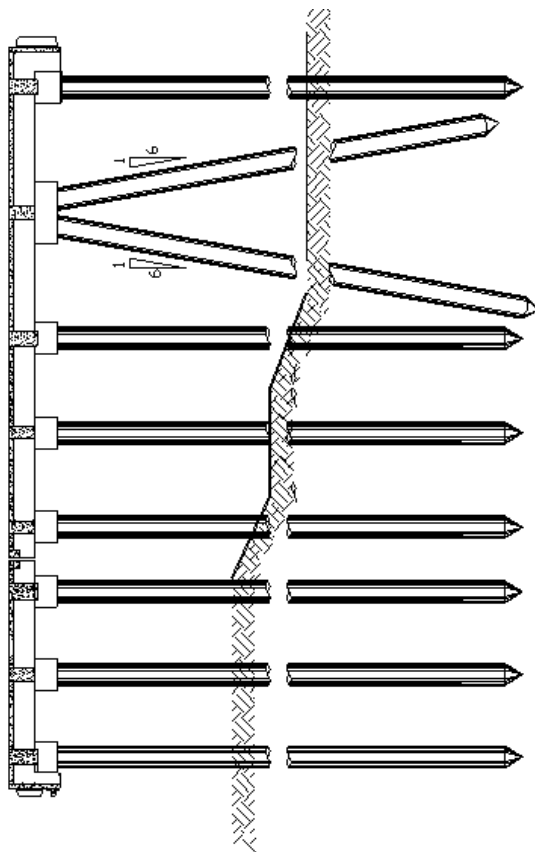
$$\begin{aligned}
 \omega &= 1.41 / (1.593 - \lambda_s) \\
 &= 1.41 / (1.593 - 0.2) \\
 &= 1.01
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tekan ijin}} &(\text{beban tetap}) \\
 &= (\sigma_{\text{Aksial ijin}} \times A) / \omega \\
 &= (2733 \times 967,4) / 1.01 \\
 &= 2616 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{tekan ijin}} = 2616 > P_{\text{tekan terjadi}} = 316,70 \text{ ton} \quad \mathbf{OK}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{tekan ijin}} &(\text{beban sementara}) \\
 &= (\sigma_{\text{Aksial ijin}} \times A) / \omega \\
 &= (3552,9 \times 967,40) / 1.01 \\
 &= 3401 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{tekan ijin}} = 3401 > P_{\text{tekan terjadi}} = 316,70 \text{ ton} \quad \mathbf{OK}$$



Gambar 5.28. Posisi/Keterangan Tiang Pancang Baja Dermaga

**Table 5.6 Resume Daya Dukung Tanah terhadap  
Gaya yang terjadi**

Diameter SPP (mm)	Posisi	Letak	Daya Dukung Tanah (ton)	Yang terjadi		Kontrol
				Gaya (ton)	Kombinasi	
1422	Tegak Crane 1	Dermaga	772,65	316,70	DL+C-SL+C-SD	<b>OK</b>
	Tegak Crane 2	Dermaga		451,80	DL+LL+0,3GX+IGY+ M-SLK+M-SDK	<b>OK</b>
1422	Tegak 1	Dermaga	772,65	350,34	DL+CSL+S-SD	<b>OK</b>
	Tegak 2			315,00	DL+LL+0,3GX+IGY+ +M-SLK+M-SDK	<b>OK</b>
1422	Miring	Dermaga	1472,19	1471,00	DL+LL+IGX+0,3GY	<b>OK</b>
508,0	Tegak	Catwalk	327,87	78,60	DL+LL+IGY+ 0,3GX+GA	<b>OK</b>
1016,0	Miring	Mooring Dolphin	790,63	753,99	DL+LL+1M-SL-P+ 1GX+0,3GY+GA	<b>OK</b>

*(Sumber : Perhitungan)*

**Table 5.7. Resume Kapasitas Bahan Tiang Pancang**

Diameter SPP (mm)	Posisi	Letak	Kapasitas Bahan		Daya Dukung Tanah (ton/tiang)	Kontrol
			Tetap (ton)	Sementara (ton)		
1422	Tegak Crane 1	Dermaga	2616,56	3401,53	<b>772,65</b>	<b>OK</b>
	Tegak Crane 2	Dermaga	2616,56	3401,53	<b>772,65</b>	<b>OK</b>
1422	Tegak 1	Dermaga	2616,56	3401,53	<b>772,65</b>	<b>OK</b>
	Tegak 2		2616,56	3401,53	<b>772,65</b>	<b>OK</b>
1422	Miring	Dermaga	29629,45	38518,29	<b>1472,19</b>	<b>OK</b>
508,0	Tegak	Catwalk	330,59	429,76	<b>234,88</b>	<b>OK</b>
1016,0	Miring	Mooring Dolphin	1717,56	2232,83	<b>790,63</b>	<b>OK</b>

*(Sumber : Perhitungan)*

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

#### **6.1. Kesimpulan**

Dari modifikasi desain struktur dermaga peti kemas, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dengan bobot kapal rencana 50.000 DWT dibagian sisi laut dan 10.000 DWT di sisi darat, ditetapkan dimensi dermaga dengan panjang 251 m sisi laut dan 248 sisi darat, total lebar 47,15 m, tinggi apron +4,98 mLWS dan kedalaman air rencana -14 mLWS di sisi laut dan -10 mLWS di sisi darat
- b. Panjang Catwalk 35 m dengan lebar 2 m dan ditengah bentang tedapat pilar dengan 2 tiang pancang baja
- c. Moring dengan tebal plat 1,75 m dengan panjang x lebar adalah 6 m terdapat 6 buah tiang pancang baja
- d. Dimensi plat dermaga (plat beton) ditetapkan menggunakan ketebalan 35 cm dan Plat di lintasan catwalk (grating). Dimensi balok ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 6.1. Dimensi Balok Dermaga

No.	Tipe Balok	Dimensi (mm)
1	Balok Crane	2000 x 1000
2	Balok Memanjang	1800 x 800
3	Balok Melintang	1800 x 800
4	Balok Anak	800 x 500
5	Balok Listplank	300 x 3500
6	Balok Tepi	800 x 500

e. Dimensi pile cap (poer) ditetapkan sebagai berikut:

Tabel 6.2. Dimensi Pilecap Dermaga

Tipe	Dimensi	Jumlah Tiang	Ket
A	2000 x 2000 x 1500	1	T. Tegak
B	4000 x 2000 x 2000	2	T. Miring

f. Direncanakan menggunakan tiang pancang pipa baja dengan diameter 1422 mm, 1016 mm, 508 mm dengan ketebalan (t=22 mm),(t=19 mm),(t=14 mm),

g. Dari analisa pembebanan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 6.3. Pembebanan pada Dermaga

Jenis Beban	Nilai	Keterangan
Beban Mati Tambahan		
Berat Fender	1,113 ton	Sisi Laut
	0,23 ton	Sisi Darat
Beban Hidup		
Air Hujan	50 kg/m <sup>2</sup>	-
Crane STS	34 ton/roda	Pada sisi Laut
	28 ton/roda	Pada sisi Darat
Crane JIB	18,5 ton/roda	Pada sisi Laut
	15,4 ton/roda	Pada sisi Darat
Trailer ATT	85 ton/8 roda	50 ton x 4 roda belakang
		35 ton x 4 roda depan
Beban Horizontal		
Berthing	161,8 ton	Sisi Laut (SL)

	81 ton	Sisi Darat (SD)
Mooring	87,85 ton (SL)	Ditahan oleh 4 boulder dan dianalisa pada dua kondisi, kondisi kapal penuh dan kapal kosong.
	23,31 ton (SD)	
Gempa		Scale factor 9,8 Tanah Sedang Zona gempa 3

- h. Dari analisa struktur diperoleh penulangan elemen-elemen struktur yang diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 6.4. Penulangan Plat Lantai

PLAT LANTAI

Resume	Lokasi	x	y
Plat 350 Dermaga	Tumpuan	25 - 75	25 - 150
	Lapangan	25 - 100	25 - 100



Tabel 6.5. Penulangan Balok Dermaga

**BALOK DERMAGA**

TYPE	BALOK CRANE DERMAGA (B1)		BALOK MELINTANG DERMAGA (B2)	
DIMENSI	1000 X 2000		800 X 1800	
DAERAH	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TUL. LENTUR ATAS	14 D25	8 D25	16 D25	6 D22
TUL. LENTUR BAWAH	8 D25	14 D25	8 D25	12 D22
TUL. GESER	4Ø16 - 85	4Ø16 - 85	4Ø16 - 120	4Ø16 - 120
TUL. PUNTIR	2x12 D25	2x12 D25	2X6 D25	2X6 D25

TYPE	BALOK MELINTANG ANAK (B6)		LISPLANK (B5)	
DIMENSI	500 X 800		300 X 3500	
DAERAH	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TUL. LENTUR ATAS	6 D19	2 D19	5 D19	6 D19
TUL. LENTUR BAWAH	4 D19	4D19	3 D19	7D19
TUL. GESER	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100	2Ø16 - 200	2Ø16 - 200
TUL. PUNTIR	2X4 D19	2X4 D19	2X10 D19	2X10 D19

TYPE	BALOK TEPI (B4)		BALOK MEMANJANG DERMAGA (B3)	
DIMENSI	500 X 800		800 X 1800	
DAERAH	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TUL. LENTUR ATAS	2 D19	2 D19	16 D25	4 D22
TUL. LENTUR BAWAH	2 D19	2 D19	8D25	10 D22
TUL. GESER	2Ø16 - 100	2Ø16 - 100	4Ø16 - 140	4Ø16 - 140
TUL. PUNTIR	2X4 D19	2X4 D19	2X6D25	2X6 D25

Tabel 6.6. Penulangan Pilecap

TIPE	STEEL PIPE PILE	UKURAN PILE CAP			KONTROL GESER POND	TULANGAN DIGUNAKAN		KONTROL $\phi M_n > M_u$
	mm	bx	by	h		ARAH X	ARAH Y	
CRANE 1	1422	2000	2000	1500	OK	D25 - 120	D25 - 120	OK
CRANE 2						D25 - 80	D25 - 80	
TEGAK 1,2	1422	2000	2000	1500	OK	D25 - 100	D25 - 100	OK
MIRING 1	1422	2000	4000	2000	OK	D25 - 110	D25 - 110	OK

- i. Struktur atas ditumpu oleh tiang pancang pipa baja.  
Berikut disajikan resume daya dukung tiang pancang baja.

Tabel 6.7. Resume Daya Dukung Tiang

Diameter SPP (mm)	Posisi	Letak	P Tekan Ijin SF = 2,5 (ton)	Yang terjadi		Kapasitas Bahan	
				P (ton)	Kombinasi	P Ijin Bahan Sementara (ton)	P Ijin Bahan Tetap (ton)
1422	Tegak Crane 1	Dermaga	772,65	316,70	DL+C-SL+C-SD	2848,29	2269,14
	Tegak Crane 2			451,80	DL+LL+0,3GX+1GY+ M-SLK+M-SDK		
1422	Tegak 1	Dermaga	772,65	350,34	DL+CSL+S-SD	1755,51	1350,39
	Tegak 2			315,00	DL+LL+0,3GX+1GY+ M-SLK+M-SDK	1799,38	1384,14
1422	Miring 1	Dermaga	1472,19	6,24	DL+LL+1GX+0,3GY	429,76	330,59
508,0	Tegak	Catwalk	327,87	78,60	DL+LL+1GY+ 0,3GX+GA	429,76	330,59
1016,0	Miring	Mooring Dolphin	790,63	753,99	DL+LL+1M-SL-P+ 1GX+0,3GY+GA	2232,83	1717,56

## **6.2. Saran**

Dalam penetapan tata letak, posisi tiang pancang hendaknya memperhatikan kemudahan pemasangan (metode pelaksanaan) yang ada di lapangan serta dalam pemilihan atau penentuan diameter tiang pancang di sesuaikan dengan brosur yang tersedia di pasaran dan mempertimbangkan faktor kuat dan ekonomis

## **DAFTAR PUSTAKA**

Sosrodarsono, S., Nakazawa, K 2000. **Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi**. Jakarta: PT Pradnya Paramita

Setiawan, Agus . **Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LFRD**. Penerbit Erlangga, 2008

**Peraturan Beton Bertulang Indonesia**, 1971. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Gedung

**Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung**, 1983. Departemen Pekerjaan Umum, Ditjen Cipta Karya Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Gedung

Panitia Tehnik Konstruksi dan Bangunan.2002. **Tata Cara perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung** (SK SNI 03-2847-2002). Jakarta : Badan Standarisasi Nasional (BSN)

**Standard Design Criteria fo Port in Indonesia, 1984**. Maritime Development Programme Directorate General of Sea Communications, Jakarta

**Technical Standards For Port and Harbour Facilities in Japan** , Beureau of Ports and Harbours, Ministry of Transport

Setiawan, Agus . **Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LFRD**. Penerbit Erlangga, 2008

## BIODATA PENULIS



Fuad Andaru Baskara dilahirkan dari keluarga asli *Javanese-Osingnese* di Bumi Blambangan, Banyuwangi, pada Selasa, 13 Besar 1926 penanggalan Jawa. Merupakan panggulu dari tiga bersaudara. Pendidikan formal terakhir mengambil di Diploma 3 Teknik Sipil FTSP-ITS. Ditahun ke-2nya, Penulis mulai menekuni konsentrasi Bangunan Transportasi. Pernah Kerja Praktek di PT.Wijaya Karya proyek pembangunan TOL Sumo seksi IV, Mojokerto, bekerja sebagai konsultan supervisi di proyek perbaikan terowongan perlintasan kereta api garahan - merawan dan juga pernah berkontribusi aktif di Hima D3TEKSI, yang sekarang HMDS Sebagai Kadept Kesma Periode 2013/2014 dan kaderisasi, sebagai anggota *Steering Commitee* (SC) periode 2014/2015. Melawan ketidakungkinan, *antimainstream*, berbagi, aplikatif, berjuang dan menghasilkan lebih adalah beberapa dari sekian banyak moto saya. “*Nothing impossible to get if you always make communication well with the only one God, Allah S.W.T*”

### **More Information :**



[fuadandarubaskara@gmail.com](mailto:fuadandarubaskara@gmail.com)  
[fuad.andaru.baskara15@mhs.ce.its.ac.id](mailto:fuad.andaru.baskara15@mhs.ce.its.ac.id)



08785738047

## **LAMPIRAN**



TORSI				
Kuat Tekan Beton	$f_c'$	=	35	Mpa
Tegangan Leleh Tulangan Utama Lentur	$f_y$	=	400	Mpa

TORSI				
Kuat Tekan Beton	$f_c'$	=	35	Mpa
Tegangan Leleh Tulangan Utama Lentur	$f_y$	=	400	Mpa

TORSI				
Kuat Tekan Beton	$f_c'$	=	35	Mpa
Tegangan Leleh Tulangan Utama Lentur	$f_y$	=	400	Mpa

TORSI				
Kuat Tekan Beton	$f_c'$	=	35	Mpa
Tegangan Leleh Tulangan Utama Lentur	$f_y$	=	400	Mpa



			Output sap200 (Geser)		
			<i>vu1</i>	2343178,4	N
			<i>vu2</i>	2523928,4	N
			<i>vu3</i>	3974583,3	N
			<i>vu4</i>	1995532,4	N
			<i>vu5</i>	253611,4	N
			<i>vu6</i>	550638,6	N
			<i>vu7</i>	741678,2	N

m = 13,44537815

Kontrol Kemampuan Penampang			Cek	Tul. Tambahan Transv. (At/s)	Cek	Tul Tambahan Longitudinal			Tulangan Bagian Badan		As Pakai mm2	Cek
	<					Al (mm2)	Al min (mm2)	Al Pakai	D tulangan	Jumlah		
2,3636425	<	3,697549864	CUKUP BESAR	1,23210035	OK	5625,770177	3248,349498	5625,7702	25	6	2943,75	OK
2,146694	<	3,697549864	CUKUP BESAR	0,81845574	OK	3737,068902	5137,050773	5137,0508	25	6	2943,75	OK
2,9707034	<	3,697549864	CUKUP BESAR	2,01686225	OK	10822,48285	1502,683369	10822,483	25	12	5887,5	OK
1,7896823	<	3,697549864	CUKUP BESAR	1,40500061	OK	7584,193317	4740,972898	7584,1933	25	12	5887,5	OK
1,0864235	<	3,697549864	CUKUP BESAR	0,30552326	OK	610,4354676	1854,597775	1854,5978	19	4	1133,54	OK
2,2815029	<	3,697549864	CUKUP BESAR	0,60448486	OK	1188,417231	1276,616012	1276,616	19	4	1133,54	OK
1,3062303	<	3,697549864	CUKUP BESAR	0,25795793	OK	1817,571554	4653,140708	4653,1407	19	10	2833,85	OK

# GESER

Kuat Tekan Beton	$f_c'$	=	35	Mpa	
Tegangan Leleh Tulangan Utama Lentur	$f_y$	=	400	Mpa	
Faktor Distribusi Tegangan Beton	$\beta$	=	0,81		
Faktor Reduksi Kekuatan Lentur	$\phi$	=	0,75		m = 13,44538
Mutu Baja U-40	$f_y$	=	400	Mpa	
$\rho$ min	=	0,0035		Rencana	D tul = 25 490,625
$\rho$ maks	=	0,02711			geser = 16
$\rho$ b	=	0,03615			

Dimensi		Tipe Balok	Lokasi	d (mm)	Vu	Vn	Vc	Vs	Vs.min	Vs.max	Kondisi 1	Kondisi 2
					N	N	N	N	N	N	$V_u \leq 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$	$V_u \leq \phi \cdot V_c$
B =	800	Balok Melintang Dermaga	Tumpuan	1696,5	2343178	3124238	1338217,2	2676434,494	452400	5352868,988	NOT	NOT
D=	1800	800 x 1800 mm	Lapangan	1696,5	2138451	2851268	1338217,2	2676434,494	452400	5352868,988	NOT	NOT
B =	800	Balok Memanjang Dermaga	Tumpuan	1696,5	2523928	3365238	1338217,2	2676434,494	452400	5352868,988	NOT	NOT
D=	1800	800 x 1800 mm	Lapangan	1696,5	2486191	3314921	1338217,2	2676434,494	452400	5352868,988	NOT	NOT
B =	1000	Balok Crane STS	Tumpuan	1896,5	3871648	5162197	1869974,2	3739948,436	632167	7479896,872	NOT	NOT
D=	2000	1000 x 2000 mm	Lapangan	1896,5	3974583	5299444	1869974,2	3739948,436	632167	7479896,872	NOT	NOT
B =	1000	Balok Crane JIB	Tumpuan	1896,5	1994638	2659518	1869974,2	3739948,436	632167	7479896,872	NOT	NOT
D=	2000	1000 x 2000 mm	Lapangan	1896,5	1995532	2660710	1869974,2	3739948,436	632167	7479896,872	NOT	NOT
B =	500	Balok Tepi	Tumpuan	724,5	253611	338149	357183,32	714366,6338	120750	1428733,268	NOT	OK
D=	800	800 x 1200	Lapangan	724,5	194714	259619	357183,32	714366,6338	120750	1428733,268	NOT	OK
B =	500	Balok Anak Melintang	Tumpuan	724,5	550639	734185	357183,32	714366,6338	120750	1428733,268	NOT	NOT
D=	800	800 x 1200	Lapangan	724,5	389252	519003	357183,32	714366,6338	120750	1428733,268	NOT	NOT
B =	300	Balok listplank Dermaga	Tumpuan	3399,5	737107	982810	1005585,7	2011171,322	339950	4022342,645	NOT	OK
D=	3500	300 x 3500	Lapangan	3399,5	741678	988904	1005585,7	2011171,322	339950	4022342,645	NOT	OK



Kondisi 3	Kondisi 4	Kondisi 5	Av/s	Av.tot/s	D tul	Kaki Sengkang	Av	Av + 2At	1/3*b*s/fy	Cek	Spasi		Cek
$V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s.min})$	$V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_s)$	$V_u \leq \phi \cdot (V_c + V_{s.max})$									Perlu	Pakai	
NOT	OK	OK	3,9441	6,4083	16	4	803,8400	141,9859	80,0000	OK	125,4382	120	OK
NOT	OK	OK	3,9441	6,4083	16	4	803,8400	141,9859	80,0000	OK	125,4382	120	OK
NOT	OK	OK	3,9441	5,5810	16	4	803,8400	193,2586	93,3333	OK	144,0324	140	OK
NOT	OK	OK	3,9441	5,5810	16	4	803,8400	193,2586	93,3333	OK	144,0324	140	OK
NOT	OK	OK	4,9301	8,9638	16	4	803,8400	89,0493	70,8333	OK	89,6763	85	OK
NOT	OK	OK	4,9301	8,9638	16	4	803,8400	89,0493	70,8333	OK	89,6763	85	OK
NOT	OK	OK	4,9301	8,9638	16	4	803,8400	89,0493	70,8333	OK	89,6763	85	OK
NOT	OK	OK	4,9301	8,9638	16	4	803,8400	89,0493	70,8333	OK	89,6763	85	OK
OK	OK	OK	2,4650	3,6740	16	2	401,9200	61,6258	41,6667	OK	109,3957	100	OK
OK	OK	OK	2,4650	3,6740	16	2	401,9200	61,6258	41,6667	OK	109,3957	100	OK
NOT	OK	OK	2,4650	3,6740	16	2	401,9200	61,6258	41,6667	OK	109,3957	100	OK
NOT	OK	OK	2,4650	3,6740	16	2	401,9200	61,6258	41,6667	OK	109,3957	100	OK
OK	OK	OK	1,4790	1,9949	16	2	401,9200	147,9020	50,0000	OK	201,4701	200	OK
OK	OK	OK	1,4790	1,9949	16	2	401,9200	147,9020	50,0000	OK	201,4701	200	OK

